

В. Н. Фещенко

Книга 1

Машины и механизмы



3-е издание

# СПРАВОЧНИК КОНСТРУКТОРА



«Инфра-Инженерия»

**В. Н. Фещенко**

# **СПРАВОЧНИК КОНСТРУКТОРА**

**Книга 1  
МАШИНЫ И МЕХАНИЗМЫ**

*Учебно-практическое пособие*

*3-е издание*

Инфра-Инженерия  
Москва — Вологда  
2019



УДК 621.001.66(035)

ББК 34.42я2

Ф44

|                |   |
|----------------|---|
| ФЗ<br>№ 436-ФЗ | Издание не подлежит маркировке<br>в соответствии с п. 1 ч. 4 ст. 11 |
|----------------|---|

**Рецензенты:**

**Ветров С. И.**, и. о. генерального директора ОАО Завод «Красный Пролетарий», г. Москва.

**Абоимов А. В.**, зам. директора по учебно-производственной работе ГОУПО, лицей №2,  
г. Мытищи, Московской обл.

**Ломаев А. Н.**, главный конструктор по изделиям гражданского назначения,  
ОАО «Воткинский завод», г. Воткинск.

**Фещенко В. Н.**

**Ф44** СПРАВОЧНИК КОНСТРУКТОРА. Книга 1. Машины и механизмы : учебно-практическое пособие. / В. Н. Фещенко. — 3-е изд. испр. и доп. — М. : Инфра-Инженерия, 2019. — 400 с.

ISBN 978-5-9729-0252-1 (К.1)

ISBN 978-5-9729-0254-5

Приведены сведения об устройстве производственных машин: о механических передачах для преобразования различных видов движений и об устройстве приводов: электрического, гидравлического, пневматического и с системой ЧПУ. Описано влияние различных видов трения на работоспособность и на износ поверхностей деталей механизмов машин.

Приведен также перечень смазочных материалов, применяемых в машинах и механизмах, и дана методика их выбора и способов подачи в рабочую зону. Даны сведения о свойствах конструкционных материалов, которые применяют для изготовления деталей машин и механизмов. Описаны применяемые в машинах разъемные и неразъемные соединения деталей, соединяемые сваркой, шлицами, крепежом, посадками и другими способами, а также муфты, трубопроводы, пружины, цепные и фрикционные передачи, включая вариаторы, ременные передачи и тормоза, и даны методы определения их нагрузочной способности.

Предназначено для инженеров, техников-конструкторов, студентов машиностроительных специальностей технических вузов и учащихся профессионально-технических училищ.

© Фещенко В. Н., автор, 2019

© Издательство «Инфра-Инженерия», 2019

ISBN 978-5-9729-0252-1 (К.1)

ISBN 978-5-9729-0254-5

## ВВЕДЕНИЕ

В своем историческом развитии человек прошел сложный путь познаний, как говорят, «от сохи до трактора». Но на этом пути продолжают поиски и находки новых технических решений, которые позволили бы с меньшими физическими и умственными затратами и более полно обеспечивать потребности жителей планеты.

Машины, которыми в настоящее время оснащены производственные процессы, на момент их создания и внедрения в производство были совершенны и отвечали требованиям своего времени. Однако, по истечении времени, происходит интеллектуальный рост человеческого общества, изменение условий жизни и изменение структуры его потребностей. Эти изменения постоянно побуждают людей-специалистов совершенствовать производственные процессы, т.е. внедрять новые, более совершенные машины, отвечающие современным потребностям и требованиям человеческого общества. И этому нет конца.

В процессе совершенствования машин и механизмов и их деталей постоянно совершенствуются методы модернизации работающих машин и методы создания новых машин и механизмов, а также методы расчета и проектирования деталей. Накопленный положительный опыт в этой области обобщается, систематизируется (в таблицах), и результаты обобщения периодически издаются в виде справочников.

Пользуясь материалом, приведенным в справочниках, можно определить размеры деталей расчетным методом и с помощью эмпирических зависимостей или определить размеры деталей с помощью таблиц. Сочетание научного расчетного и эмпирического методов создания элементов новых конструкций, а также использование в новых конструкциях машин деталей и конструктивных элементов прежних машин позволяет сократить сроки и затраты на создание новых машин и поэтому является основой конструкторской работы.

Для того, чтобы включиться в этот творческий процесс модернизации и создания новых машин необходимо обладать основами технической грамоты – это принятые условные обозначения и графические изображения на чертежах, а также техническая терминология, принятая специалистами для общения в области машиностроения. Обладая этими знаниями, можно разобраться самостоятельно или с помощью сотрудников в том, что, в буквальном смысле, натворили предшествующие поколения конструкторов – создателей ныне действующих машин и механизмов.

Затем, зная достоинства и недостатки различных устройств, технические возможности ранее созданных машин при работе в современных условиях и зная достижения техники на современном уровне, можно найти решение, как с учетом этих достижений модернизировать действующую машину или какой должна быть новая машина. Кроме того, при создании новой или совершенствовании действующей конструкции машины или механизма необходимо уметь оценить расчетом смогут ли ранее спроектированные детали и сборочные единицы, входящие в новую конструкцию, выдержать новые режимы работы и новые нагрузки.

После этого замысел конструктора в виде новой конструкции машины или механизма излагается, с использованием основ технической грамоты, в чертежах, по которым изготовитель узнает, как нужно изготовить новую машину.

В данном справочнике приведен теоретический материал и таблицы по конструктивным материалам, по допускам и посадкам, по деталям машин и их элементам. Приведено описание устройства базовых деталей и некоторых механизмов на примере металлорежущих станков. Это объясняется тем, что металлорежущие станки имеются практически на всех производствах. При необходимости, приводимые примеры могут быть предметно рассмотрены и затем уточнены при рассмотрении отличительных особенностей в конструктивных решениях устройства технологических машин другого назначения.

Вместе с тем, более подробные сведения по конструктивным особенностям машин конкретного назначения, а также о покупных изделиях и их изготовителях можно получить в интернете.

Справочник представлен в двух книгах:

**Книга 1. «Машины и механизмы»;**

**Книга 2. «Проектирование машин и их деталей».**

Настоящий справочник соответствует требованиям учебных планов и программ для подготовки молодых специалистов в лицеях, колледжах, профессионально-технических училищах и в школах рабочей молодежи при изучении учащимися предмета общепрофессиональной дисциплины, включающей изучение устройства машин и механизмов, определение воспринимаемой ими нагрузки и основ их проектирования.

Данный «Справочник конструктора» составлен с учетом требований, изложенных в федеральном государственном образовательном стандарте среднего профессионального образования по профессии 151901.01 Чертежник-конструктор, который утвержден Приказом Минобрнауки РФ N 825 от 2 августа 2013 г. и введен в действие с 1 сентября 2013 года.

Справочник может найти применение в качестве учебного пособия для учащихся профессиональных учебных заведений и в творческой деятельности начинающих конструкторов, повышающих свое мастерство при совершенствовании действующих машин и при создании машин новых конструкций.

Приношу глубокую признательность всем, кто поделился своим опытом, словом и делом принял участие в составлении данного справочника и чьи наработки включены в этот справочник.

**С пожеланиями успехов и удачи  
автор.**

# Глава 1

## СИСТЕМА ЕДИНИЦ И МЕР ИЗМЕРЕНИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В МАШИНОСТРОЕНИИ

### 1.1. АЛФАВИТЫ И ЦИФРЫ

В отечественной научной и технической литературе и в технической документации машиностроения применяют кириллицу, латиницу и греческий алфавиты (табл. 1.1).

Таблица 1.1

| Латинский и греческий алфавиты |              |                  |              |                  |              |
|--------------------------------|--------------|------------------|--------------|------------------|--------------|
| Рукописные буквы               | Произношение | Рукописные буквы | Произношение | Рукописные буквы | Произношение |
| <i>Латинский алфавит</i>       |              |                  |              |                  |              |
| Aa                             | а            | Jj               | йот          | Ss               | эс           |
| Bb                             | бе           | Kk               | ка           | Tt               | тэ           |
| Cc                             | це           | Ll               | эль          | Uu               | у            |
| Dd                             | де           | Mm               | эм           | Vv               | ве           |
| Ee                             | е            | Nn               | эн           | Ww               | дубль-ве     |
| Ff                             | эф           | Oo               | о            | Xx               | икс          |
| Gg                             | ге           | Pp               | пэ           | Yy               | игрек        |
| Hh                             | аш           | Qq               | ку           | Zz               | зет          |
| Ii                             | и            | Rr               | эр           |                  |              |
| <i>Греческий алфавит</i>       |              |                  |              |                  |              |
| Aα                             | альфа        | ι                | йота         | Ρρ               | ро           |
| Bβ                             | бета         | Κκ               | каппа        | Σσ               | сигма        |
| Γγ                             | гамма        | Λλ               | ламбда       | Ττ               | тау          |
| Δδ                             | дельта       | Μμ               | мю           | Υυ               | ипсилон      |
| Εε                             | эпсилон      | Νν               | ню           | Φφ               | фи           |
| Ζζ                             | дзета        | Ξξ               | кси          | Χχ               | хи           |
| Ηη                             | эта          | Οο               | омикрон      | Ψψ               | пси          |
| Θθ                             | тхэта        | Ππ               | пи           | Ωω               | омега        |

**Римские цифры** изображаются основными знаками: I, V, X, L, C, D и M, которые соответствуют следующим натуральным числам: I – 1; V – 5; X – 10; L – 50; C – 100; D – 500; M – 1000.

С помощью основных знаков записываются все натуральные числа. Для определения натурального числа, записанного римскими цифрами, нужно сложить значения всех римских цифр, записанных в числе, например:

$$XVI = 10 + 5 + 1 = 16, CCXXVIII = 100 + 100 + 10 + 10 + 5 + 1 + 1 + 1 = 228.$$

Однако, если перед большей по значению цифрой стоит меньшая, то из цифры большего значения следует вычесть цифру меньшего значения, например:

$$CXXIV = 100 + 10 + 10 + (5 - 1) = 124; CMIX = (1000 - 100) + (10 - 1) = 909.$$

### 1.2. ЕДИНИЦЫ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

ГОСТ 8.417–81 «Единицы физических величин» устанавливает обязательное применение в науке и технике единиц Международной системы единиц (сокращенно СИ).

Таблица 1.2

| Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц и их наименований |           |             |               |            |           |             |               |
|---|-----------|-------------|---------------|------------|-----------|-------------|---------------|
| Множитель   | Приставка | Обозначение |               | Множитель  | Приставка | Обозначение |               |
|   |           | русское     | международное |            |           | русское     | международное |
| $10^{18}$   | экса      | Э           | E             | $10^{-1}$  | деци      | д           | d             |
| $10^{15}$   | пета      | П           | P             | $10^{-2}$  | санتي     | с           | c             |
| $10^{12}$   | тера      | T           | T             | $10^{-3}$  | милли     | м           | m             |
| $10^9$  | гига      | G           | G             | $10^{-6}$  | микро     | мк          | μ             |
| $10^6$  | мега      | M           | M             | $10^{-9}$  | нано      | н           | n             |
| $10^3$  | кило      | к           | k             | $10^{-12}$ | пико      | п           | p             |
| $10^2$  | гекто     | г           | h             | $10^{-15}$ | фемто     | ф           | f             |
| $10^1$  | дека      | да          | da            | $10^{-18}$ | атто      | а           | a             |

*Примечание.* Кратные и дольные единицы образуются путем умножения или деления на степень числа 10. Их наименование получается прибавлением указанных в таблице приставок к наименованиям основных или производных единиц, например, километр, миллиграмм, микрометр, наносекунда и т. п.

Таблица 1.3

## Основные и дополнительные единицы СИ

| Наименование величины                 | наименование                 | обозначение       |                   | Единица  | определение |
|---------------------------------------|------------------------------|-------------------|-------------------|--|-------------|
|                                       |                              | русское           | международное     |  |             |
| <b>Основные единицы</b>               |                              |                   |                   |  |             |
| Длина                                 | Метр                         | м                 | m                 | Метр равен длине 1 660 763,73 длин волн в вакууме излучения, соответствующего переходу между уровнями $2p_{10}$ и $5d_5$ атома криптона-86   |             |
| Масса                                 | Килограмм                    | кг                | kg                | Килограмм равен массе международного прототипа килограмма  |             |
| Время                                 | Секунда                      | с                 | s                 | Секунда равна 9 192 631 770 периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133  |             |
| Сила электрического тока              | Ампер                        | А                 | A                 | Ампер равен силе неизменяющегося тока, который при прохождении по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малой площади кругового поперечного сечения, расположенным в вакууме на расстоянии 1 м один от другого, вызывал бы на участке проводника длиной 1 м силу взаимодействия, равную $2 \cdot 10^{-7}$ Н |             |
| Термодинамическая температура         | Кельвин                      | К                 | K                 | Кельвин равен 1/273,16 части термодинамической температуры тройной точки воды  |             |
| Сила света                            | Кандела                      | кд                | cd                | Кандела равна силе света, испускаемого с поверхности площадью 1/600 000 м <sup>2</sup> полного излучателя в перпендикулярном направлении, при температуре излучателя, равной температуре затвердевания платины – при давлении 101 325 Па   |             |
| Количество вещества                   | Моль                         | моль              | mol               | Моль равен количеству вещества системы, содержащей столько же структурных элементов (атомы, молекулы, ионы, электроны или другие частицы), сколько содержится атомов в углероде -12 массой 0,012 кг  |             |
| <b>Дополнительные единицы</b>         |                              |                   |                   |  |             |
| Плоский угол                          | Радян                        | рад               | rad               | Радян равен углу между двумя радиусами окружности, длина дуги между которыми равна радиусу   |             |
| Телесный угол                         | Стерadian                    | ср                | sr                | Стерadian равен телесному углу с вершиной в центре сферы, вырезающему на поверхности сферы площадь, равную площади квадрата со стороной, равной радиусу сферы  |             |
| <b>Некоторые производные единицы</b>  |                              |                   |                   |  |             |
| <i>Единицы пространства и времени</i> |                              |                   |                   |  |             |
| Площадь                               | Квадратный метр              | м <sup>2</sup>    | m <sup>2</sup>    | Квадратный метр равен площади прямоугольника, каждая сторона которого равна 1 м  |             |
| Объем, вместимость                    | Кубический метр              | м <sup>3</sup>    | m <sup>3</sup>    | Кубический метр равен объему прямоугольного параллелепипеда, каждое ребро которого равно 1 м   |             |
| Скорость                              | Метр в секунду               | м/с               | m/s               | Метр в секунду равен скорости прямолинейно и равномерно движущейся материальной точки, при которой эта точка за время 1 с перемещается на расстояние 1 м   |             |
| Ускорение                             | Метр на секунду в квадрате   | м/с <sup>2</sup>  | m/s <sup>2</sup>  | Метр на секунду в квадрате равен ускорению прямолинейно и равноускоренно движущейся материальной точки, линейная скорость которой изменяется на 1 м/с в течение 1с   |             |
| Угловая скорость                      | Радян в секунду              | рад/с             | rad/s             | Радян в секунду равен угловой скорости равномерно вращательного движения точки по окружности, при котором радиус-вектор этой точки описывает в течение 1с центральный угол, равный 1рад  |             |
| Частота                               | Герц                         | Гц                | Hz                | Герц равен частоте, при которой в 1с завершается одно колебание или цикл   |             |
| <i>Единицы механических величин</i>   |                              |                   |                   |  |             |
| Сила                                  | Ньютон                       | Н                 | N                 | Ньютон равен силе, сообщающей телу с постоянной массой 1 кг ускорение в 1 м/с <sup>2</sup> в направлении действия силы   |             |
| Плотность                             | Килограмм на кубический метр | кг/м <sup>3</sup> | kg/m <sup>3</sup> | Килограмм на кубический метр равен плотности однородного вещества, масса которого при объеме 1м <sup>3</sup> равна 1 кг  |             |
| Момент силы                           | Ньютон-метр                  | Н·м               | N·m               | Ньютон-метр равен моменту силы, создаваемому силой 1Н относительно точки, расположенной на расстоянии 1 м от линии действия силы   |             |
| Давление (механическое напряжение)    | Паскаль                      | Па                | Pa                | Паскаль равен давлению (механическому напряжению), вызываемому силой 1 Н, равномерно распределенной по нормальной к ней поверхности площадью 1 м <sup>2</sup> (Н/м <sup>2</sup> )  |             |
| Работа (энергия)                      | Джоуль                       | Дж                | J                 | Джоуль равен работе, которую совершает постоянная сила в 1 Н на пути 1 м, пройденном телом под действием этой силы в направлении действия силы   |             |
| Мощность                              | Ватт                         | Вт                | W                 | Ватт равен мощности, при которой за 1 с совершается работа 1 Дж  |             |



Важнейшие производные единицы СИ для различных областей науки и техники

| Величина  | Единица                             |                           |                      |
|---|-------------------------------------|---------------------------|----------------------|
|   | наименование                        | обозначение               |                      |
|   |                                     | русское                   | международное        |
| Площадь   | Квадратный метр                     | м <sup>2</sup>            | м <sup>2</sup>       |
| Объем, вместимость  | Кубический метр                     | м <sup>3</sup>            | м <sup>3</sup>       |
| Частота   | Герц                                | Гц                        | Hz                   |
| Частота дискретных событий (частота импульсов, ударов и т.п.)   | Секунда в минус первой степени      | с <sup>-1</sup>           | s <sup>-1</sup>      |
| Частота вращения  | Секунда в минус первой степени      | с <sup>-1</sup>           | s <sup>-1</sup>      |
| Период  | Секунда                             | с                         | s                    |
| Скорость  | Метр в секунду                      | м/с                       | m/s                  |
| Ускорение   | Метр на секунду в квадрате          | м/с <sup>2</sup>          | m/s <sup>2</sup>     |
| Угловая скорость  | Радан в секунду                     | рад/с                     | rad/s                |
| Угловое ускорение   | Радан на секунду в квадрате         | рад/с <sup>2</sup>        | rad/s <sup>2</sup>   |
| Длина волны   | Метр                                | м                         | m                    |
| Сила  | Ньютон                              | Н                         | N                    |
| Вес   | Ньютон                              | Н                         | N                    |
| Плотность   | Килограмм на кубический метр        | кг/м <sup>3</sup>         | kg/m <sup>3</sup>    |
| Удельный объем  | Кубический метр на килограмм        | м <sup>3</sup> /кг        | m <sup>3</sup> /kg   |
| Удельный вес  | Ньютон на кубический метр           | Н/м <sup>3</sup>          | N/m <sup>3</sup>     |
| Момент силы, момент лары сил  | Ньютон-метр                         | Н·м                       | N·m                  |
| Момент инерции (динамический момент инерции)  | Килограмм-метр в квадрате           | кг·м <sup>2</sup>         | kg·m <sup>2</sup>    |
| Полярный момент инерции площади плоской фигуры  | Метр в четвертой степени            | м <sup>4</sup>            | m <sup>4</sup>       |
| Момент сопротивления плоской фигуры отрезка   | Метр в третьей степени              | м <sup>3</sup>            | m <sup>3</sup>       |
| Давление, механическое напряжение, модуль упругости   | Паскаль                             | Па<br>(Н/м <sup>2</sup> ) | Pa                   |
| Градиент давления   | Паскаль на метр                     | Па/м                      | Pa/m                 |
| Количество движения   | Килограмм-метр в секунду            | кг·м/с                    | kg·m/s               |
| Момент количества движения  | Килограмм-метр в квадрате в секунду | кг·м <sup>2</sup> /с      | kg·m <sup>2</sup> /s |
| Работа, энергия   | Джоуль                              | Дж                        | J                    |
| Мощность  | Ватт                                | Вт                        | W                    |
| Продольная и поперечная силы в сечении бруса  | Ньютон                              | Н                         | N                    |
| Интенсивность распределения нагрузки  | Ньютон на метр                      | Н/м                       | N/m                  |
| Напряжение, касательное напряжение  | Паскаль                             | Па                        | Pa                   |
| Угловая деформация (деформация сдвига)  | Радан                               | рад                       | rad                  |
| Модуль продольной упругости, модуль упругости при сдвиге  | Паскаль                             | Па                        | Pa                   |
| Изгибающий момент, вращающий (крутящий) момент  | Ньютон-метр                         | Н·м                       | N·m                  |
| Жесткость:<br>при растяжении, сжатии  | Ньютон на метр                      | Н/м                       | N/m                  |
| при кручении, изгибе  | Ньютон-метр на радиан               | Н·м/рад                   | N·m/rad              |
| Электрическое напряжение, электрический потенциал, разность электрических потенциалов, электродвижущая сила | Вольт                               | В                         | V                    |
| Электрическая емкость   | Фарада                              | Ф                         | F                    |
| Электрическое сопротивление   | Ом                                  | Ом                        | Ω                    |
| Кинематическая вязкость   | Метр квадратный в секунду           | м <sup>2</sup> /с         | m <sup>2</sup> /s    |
| Динамическая вязкость   | Пуаз                                | Н·с/м <sup>2</sup>        | N·s/m <sup>2</sup>   |
| Ударная вязкость  | Джоуль на метр квадратный           | Дж/м <sup>2</sup>         | J/m <sup>2</sup>     |

Согласование единиц разных систем с СИ

| Величина              | Единица                     |   |
|-----------------------|-----------------------------|---|
|                       | обозначение русское         | обозначение международное                             |
| Сила, вес             | 1 кгс                       | 9,8 Н $\approx$ 10Н                                   |
| Момент силы           | 1 кгс·м                     | 9,8 Н·м $\approx$ 10Н·м                               |
| Частота               | 1 об/сек                    | 6,28 рад/с = 1с <sup>-1</sup>                         |
|                       | 1 об/мин                    | 0,105 рад/с = 1мин <sup>-1</sup>                      |
| Удельная нагрузка     | 1 кгс/см <sup>2</sup>       | 0,1 МПа = 10 <sup>5</sup> Па (1Па=1Н/м <sup>2</sup> ) |
|                       | 1 кгс/мм <sup>2</sup>       | 10 МПа  |
| Плоский угол          | ° – градус                  | ° = 1,745329 · 10 <sup>-2</sup> рад                   |
|                       | ' – минута                  | ' = 2,908882 · 10 <sup>-4</sup> рад                   |
|                       | " – секунда                 | " = 4,848137 · 10 <sup>-6</sup> рад                   |
| Атмосфера техническая | 1 атм = 1кг/см <sup>2</sup> | 9,8 · 10 <sup>4</sup> Н/м <sup>2</sup> = 0,1 МПа      |
| Дюйм                  | 1" = 25,4 мм                | 1" = 25,4 мм  |

Таблица 1.6

Перевод градусной меры в радианную меру  
(длина дуг окружности радиуса, равного 1; 1 рад = 57° 17' 44"; 1° = 0,017453 рад)

| Угол | Дуга     | Угол | Дуга     | Угол | Дуга     | Угол | Дуга     |
|------|----------|------|----------|------|----------|------|----------|
| 1"   | 0,000005 | 1'   | 0,000291 | 1°   | 0,017453 | 20°  | 0,349066 |
| 2"   | 0,000010 | 2'   | 0,000582 | 2°   | 0,034907 | 30°  | 0,523599 |
| 3"   | 0,000015 | 3'   | 0,000873 | 3°   | 0,052360 | 40°  | 0,698132 |
| 4"   | 0,000019 | 4'   | 0,001164 | 4°   | 0,069813 | 50°  | 0,872665 |
| 5"   | 0,000024 | 5'   | 0,001454 | 5°   | 0,087266 | 60°  | 1,047198 |
| 6"   | 0,000029 | 6'   | 0,001745 | 6°   | 0,104720 | 90°  | 1,570796 |
| 7"   | 0,000034 | 7'   | 0,002036 | 7°   | 0,122173 | 180° | 3,141593 |
| 8"   | 0,000039 | 8'   | 0,002327 | 8°   | 0,139626 | 270° | 4,712389 |
| 9"   | 0,000044 | 9'   | 0,002618 | 9°   | 0,157080 | 360° | 6,283185 |
| 10"  | 0,000049 | 10'  | 0,002909 | 10°  | 0,174533 |      |          |

Примечание.

$$1^\circ \times \frac{\pi}{180} = 0,0174532925 \text{ рад.}$$

### 1.3. СВОЙСТВА КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Таблица 1.7

Показатели и основные зависимости, определяющие характеристики металлов

| Характеристика металлов  | Обозначение   |   |
|--|---|---|
| <b>Механические свойства</b>   |   |   |
| Предел текучести – предельное растягивающее напряжение   | $\sigma_T$  | МПа                                     |
| Модуль продольной упругости, $E = \sigma / \varepsilon = P l_0 / F_0 \Delta l$ , где $\varepsilon = \Delta l / l_0$  | E   | МПа                                     |
| Модуль сдвига – $G = \sigma / \alpha$ , где $\alpha \approx \text{tg } \alpha$   | G   | МПа                                     |
| Временное сопротивление при растяжении, $\sigma_B = P_{\max} / F$  | $\sigma_B$  | МПа                                     |
| Относительное удлинение, $\delta = (l_1 - l_0) / l_0$  | $\delta$  | %                                       |
| Относительное сужение, $\psi = (F_0 - F_1) / F_0$  | $\psi$  | %                                       |
| Предел упругости – $\sigma_e = P / F$ ,  | $\sigma_e$  | МПа                                     |
| Твердость  | HB; HRC <sub>3</sub> ; HV                           |   |
| Предел выносливости (усталости) при симметричном цикле напряжения $\sigma_{-1} = (0,49 \pm 0,13) \sigma_B$ ; $\sigma_{-1} = 0,75 \sigma_e$ .                   | $\sigma_{-1}$                                       | МПа                                     |
| Ударная вязкость - работа разрушения образца, $a_u = A / F = 1,25A$  | $a_u$   | кДж/м <sup>2</sup> ; Дж/см <sup>2</sup> |
| Предел прочности хрупких материалов при статическом изгибе<br>$\sigma_u = 32M / \pi d^3$ или $\sigma_u = 6M / bh^2$  | $\sigma_u$  | МПа                                     |
| Напряжение сдвига при скручивании $\tau = \gamma G = 0,5 G \theta d$<br>стержня $\tau_{\max} = 16M / \pi d^3$ ; трубы $\tau = 16M / \pi d^3 (1 - d_1^4 / d^4)$ | $\tau$  | МПа                                     |
| <b>Физические свойства</b>   |   |   |
| Плотность - отношение массы вещества к его объему  | $\gamma$  | г/см <sup>3</sup>                       |
| Температура плавления - превращение твердого вещества в жидкое   | $t_{пл}$  | °С                                      |
| Теплопроводность $\lambda = Q / F (t_1 - t_2) \tau$  | $\lambda$   | Вт/(см·°С)                              |
| Коэффициент линейного расширения - линейная деформация материала при изменении температуры на 1 °С   | $\alpha$<br>$\alpha \cdot 10^6$                     | 1/°С                                    |
| Напряженность работы   | $p \cdot v$   | МПа/м·с                                 |
| Удельная теплоемкость  | кДж/(м <sup>3</sup> ·°С); Дж/(см <sup>3</sup> ·°С); |   |
| Удельное электрическое сопротивление ( $\rho \cdot 10^6$ )   | $\rho$  | Ом·мм <sup>2</sup> /м                   |
| Электрическая прочность  | кВ/мм <sup>2</sup> , Ом/мм <sup>2</sup>             |   |

Примечание.  $P_{\max}$  – максимальная нагрузка;  $F_0$  – первоначальная площадь поперечного сечения;  $l_0$  – первоначальная длина;  $A$  – работа;  $M$  – изгибающий момент;  $b$  и  $h$  – ширина и высота сечения;  $d$  – диаметр образца;  $Q$  – количество теплоты;  $(t_1 - t_2)$  – разность температур;  $\tau$  – время;  $\theta$  – угол скручивания на единицу длины.

Значения модуля продольной упругости  $E$ , модуля сдвига  $G$ , коэффициента Пуассона  $\nu$ , температурного коэффициента линейного расширения  $\alpha$  и плотности  $\gamma$  для некоторых часто применяемых материалов при 20°C

| Материал            | Модуль продольной упругости $E$ , Па | Модуль сдвига $G \cdot 10^{10}$ , Па | Коэффициент Пуассона, $\nu$ | Температурный коэффициент линейного расширения, $\alpha \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ | Плотность $\gamma \cdot 10^3$ , кг/м <sup>3</sup> |
|---------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|---|---|
| Сталь               | $(1,90 \div 2,15)10^{11}$            | 7,8÷8,30                             | 0,25÷0,33                   | 10÷13   | 7,7÷7,8   |
| Серый чугун         | $(0,78 \div 1,47)10^{11}$            | 4,42                                 | 0,23÷0,27                   | 8,7÷11  | 7,0÷7,1   |
| Бронза оловянная    | $(0,74 \div 1,22)10^{11}$            | –                                    | 0,32÷0,35                   | 17÷22   | 8,6÷8,8   |
| Бронза безоловянная | $(1,03 \div 1,18)10^{11}$            | –                                    | –                           | 17÷22   | 8,6÷8,8   |
| Латунь алюминиевая  | $(0,98 \div 1,08)10^{11}$            | 3,63÷3,92                            | 0,32÷0,34                   | 17÷22   | 8,2÷8,5   |
| Алюминиевые сплавы  | $(6,87 \div 7,07)10^{10}$            | 2,65                                 | 0,33                        | 22÷24   | 2,6÷2,7   |
| Текстолит           | $(5,88 \div 9,81)10^{10}$            | –                                    | –                           | 20÷40   | 1,25÷1,4  |
| Генитакс            | $(9,81 \div 17,7)10^{10}$            | –                                    | –                           | 17÷25   | 1,17÷1,37   |
| Капрон              | $(1,37 \div 1,96)10^{10}$            | –                                    | –                           | –   | 1,14÷1,37   |

Примечание. Плотность  $\gamma = 7,0 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 = 7,0 \text{ г/см}^3 = 7,0 \text{ кг/дм}^3$ .

Коэффициенты линейного расширения  $\alpha \cdot 10^{-6}$  металлов и сплавов (в интервалах температур в °C)

| Металл или сплав   | Значения $\alpha$ при интервалах температур в °C |           |           |           |           |           |
|--------------------|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                    | 20–50  | 20–100    | 20–200    | 20–300    | 20–400    | 20–500    |
| Железо             | 11,8   | 12,2      | 12,8      | 13,4      | 13,9      | 14,5      |
| Сталь углеродистая | –  | 10,6–12,2 | 11,3–13,0 | 12,1–13,5 | 12,9–13,9 | 13,5–14,3 |
| Сталь хромистая    | –  | 11,2      | 11,8      | 12,4      | 13,0      | 13,6      |
| Чугун              | –  | 8,7–11,1  | 8,5–11,6  | 10,1–12,2 | 11,5–12,7 | 12,9–13,2 |
| Бронза алюминиевая | –  | 17,6      | 17,9      | 19,2      | –         | –         |
| Бронза оловянистая | –  | 17,6      | 17,9      | 18,2      | –         | –         |
| Алюминий чистый    | –  | 23,9      | 24,3      | 25,3      | 26,5      | –         |
| Медь техническая   | 16,9   | 16,6–17,1 | 17,1–17,2 | 17,6      | 18,0–18,1 | 18,6      |
| Латунь красная     | –  | 17,2      | 17,5      | 17,9      | –         | –         |
| Латунь желтая      | –  | 17,8      | 18,8      | 20,9      | –         | –         |

Пример. Шпindel из стали 40X длиной  $l = 800 \text{ мм}$  имеет начальную температуру  $t_1 = 20^\circ \text{C}$  и конечную  $t_2 = 60^\circ \text{C}$ .

Удлинение  $\Delta l = \alpha \cdot 10^{-6} l(t_2 - t_1) = 11,2 \cdot 10^{-6} \cdot 800 (60 - 20) = 0,358 \text{ мм}$ .

Перевод коэффициентов твердости HB, HRC и HRC<sub>30</sub> конструкционной стали

| HB  | HRC | HRC <sub>30</sub> | $\sigma_b$ стали, МПа |           |             | HB  | HRC | HRC <sub>30</sub> | $\sigma_b$ стали, МПа |           |             |
|-----|-----|-------------------|-----------------------|-----------|-------------|-----|-----|-------------------|-----------------------|-----------|-------------|
|     |     |                   | углеродистой          | хромистой | хромоникель |     |     |                   | углеродистой          | хромистой | хромоникель |
| 652 | 63  | 64                | –                     | –         | –           | 311 | 34  | 36                | 112                   | 109       | 106         |
| 627 | 61  | 62                | –                     | –         | –           | 302 | 33  | 34                | 108                   | 105       | 102         |
| 600 | 59  | 60                | –                     | 210       | 204         | 293 | 31  | 33                | 105                   | 102       | 99          |
| 578 | 58  | 59                | –                     | 203       | 197         | 286 | 30  | 32                | 102                   | 100       | 97          |
| 555 | 56  | 57                | –                     | 195       | 189         | 277 | 29  | 31                | 100                   | 97        | 94          |
| 532 | 54  | 55                | –                     | 185       | 180         | 269 | 28  | 30                | 97                    | 94        | 91          |
| 512 | 52  | 53,5              | –                     | 178       | 173         | 262 | 27  | 29                | 94                    | 92        | 89          |
| 495 | 51  | 52,5              | –                     | 173       | 168         | 265 | 26  | 28                | 92                    | 89        | 86          |
| 477 | 49  | 50,5              | –                     | 168       | –           | 248 | 25  | 27                | 89                    | 87        | 84          |
| 460 | 48  | 49,5              | –                     | –         | 156         | 241 | 24  | 26                | 87                    | 84        | 82          |
| 444 | 47  | 48,5              | –                     | 156       | –           | 235 | 23  | 25                | 85                    | 82        | 80          |
| 430 | 45  | 46,5              | –                     | 150       | 146         | 229 | 22  | 24                | 82                    | 80        | 77          |
| 418 | 44  | 45,5              | 151                   | 147       | 143         | 223 | 21  | 23                | 80                    | 78        | 76          |
| 402 | 43  | 44,5              | 145                   | 141       | 137         | 217 | 20  | 22                | 78                    | 76        | 74          |
| 387 | 41  | 42,5              | 139                   | 136       | 132         | 212 | 19  | 21                | 75                    | 74        | 72          |
| 375 | 40  | 41,5              | 134                   | 130       | 127         | 207 | 18  | 20                | 74                    | 72        | 70          |
| 364 | 39  | 40,5              | 130                   | 127       | 123         | 202 | –   | –                 | 73                    | 71        | 68          |
| 351 | 38  | 39,5              | 126                   | 122       | 119         | 170 | –   | –                 | 61                    | 59        | 58          |
| 340 | 37  | 38,5              | 122                   | 119       | 116         | 149 | –   | –                 | 53                    | 51        | 50          |
| 332 | 36  | 37,5              | 120                   | 117       | 113         | 128 | –   | –                 | 46                    | 45        | 44          |
| 321 | 35  | 37                | 115                   | 112       | 109         | 118 | –   | –                 | 43                    | 42        | 40          |
| 311 | 34  | 36                | 112                   | 109       | 106         | 112 | –   | –                 | 40                    | 39        | 38          |

Таблица 1.11

## Перевод коэффициентов твердости НВ в коэффициенты твердости по шкале Шора (HSh)

| НВ  | HSh | НВ  | HSh | НВ  | HSh | НВ  | HSh | НВ  | HSh | НВ  | HSh |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 444 | 64  | 332 | 50  | 255 | 40  | 201 | 32  | 163 | 27  | 131 | 22  |
| 429 | 62  | 321 | 49  | 248 | 39  | 197 | 31  | 159 | 26  | 128 | 22  |
| 415 | 61  | 312 | 47  | 241 | 38  | 192 | 30  | 156 | 26  | 123 | 21  |
| 401 | 59  | 302 | 46  | 235 | 37  | 187 | 30  | 152 | 25  | 121 | 21  |
| 388 | 57  | 293 | 45  | 229 | 36  | 185 | 29  | 149 | 24  | 118 | 21  |
| 375 | 56  | 283 | 44  | 223 | 35  | 179 | 29  | 147 | 24  | 116 | 20  |
| 363 | 54  | 277 | 43  | 217 | 34  | 174 | 28  | 143 | 24  | 114 | 20  |
| 352 | 53  | 270 | 42  | 212 | 34  | 170 | 28  | 140 | 23  | 111 | 20  |
| 341 | 51  | 260 | 41  | 207 | 33  | 167 | 27  | 137 | 23  | 110 | 20  |
|     |     |     |     |     |     |     |     | 135 | 23  | 107 | 19  |

Таблица 1.12

## Коэффициенты трения скольжения (ориентировочные)

| Материалы трущихся тел | При покое |            | При движении |            |
|------------------------|-----------|------------|--------------|------------|
|                        | насухо    | со смазкой | насухо       | со смазкой |
| Сталь – сталь          | 0,15      | 0,1–0,12   | 0,15         | 0,05–0,1   |
| Сталь – чугун          | 0,3       | –          | 0,18         | 0,05–0,15  |
| Сталь – бронза         | 0,15      | 0,1–0,15   | 0,15         | 0,1–0,15   |
| Сталь – дуб            | 0,6       | 0,12       | 0,4–0,6      | 0,1        |
| Чугун – чугун          | –         | 0,18       | 0,15         | 0,07–0,12  |
| Чугун – бронза         | –         | –          | 0,15–0,2     | 0,07–0,15  |
| Бронза – бронза        | –         | 0,1        | 0,2          | 0,07–0,1   |
| Чугун – дуб            | 0,65      | –          | 0,3–0,5      | 0,2        |
| Кожа – чугун           | 0,3–0,5   | 0,15       | 0,6          | 0,15       |
| Резина – чугун         | –         | –          | 0,8          | 0,5        |

Таблица 1.13

## Коэффициенты трения качения для катка на плоскости (ориентировочные)

| Материалы трущихся тел              | Коэффициент трения, см |
|-------------------------------------|------------------------|
| Мягкая сталь – мягкая сталь         | 0,005                  |
| Закаленная сталь – закаленная сталь | 0,001                  |
| Чугун – чугун                       | 0,005                  |
| Дерево – сталь                      | 0,03–0,04              |
| Дерево – дерево                     | 0,05–0,08              |

Таблица 1.14

Удельный вес некоторых материалов, ( $10^2 \text{ Н/см}^3$ )

| Материал           | Удельный вес | Материал                    | Удельный вес | Материал               | Удельный вес |
|--------------------|--------------|-----------------------------|--------------|------------------------|--------------|
| Алмаз              | 3,52         | Никель                      | 8,3–8,9      | Сталь катаная          | 7,85–8,0     |
| Алюминий (прокат)  | 2,65–2,75    | Платина                     | 21,5         | Сталь литая            | 7,5–7,92     |
| Асбест             | 2,1–2,8      | Припой мягкие               | 7,6–10,7     | Стекло                 | 2,42–3,86    |
| Асбестовый шнур    | 1,11         | Припой твердые              | 8,1–8,3      | Стекло органическое    | 1,18         |
| Баббит             | 7,5–10,5     | Припой серебряные           | 8,6–9,5      |                        |              |
| Бронза алюминиевая | 7,7          | Пробка                      | 0,24         | Текстолит              | 1,3–1,4      |
| Бронза оловянистая | 8,6–9,3      | Резина вулканизированная    | 1,00         | Уран                   | 18,7         |
| Бронза фосфористая | 8,8          |                             |              | Фибра                  | 1,1–1,4      |
| Войлок технический | 0,2–0,38     | Ртуть твердая (при – 40 °С) | 15,632       | Хром                   | 7,14         |
| Гетинакс           | 1,3–1,4      | Ртуть жидкая (при + 20 °С)  |              | 13,55                  | Целлулоид    |
| Графит             | 2,20         | Свинец                      | 11,3–11,4    |                        | Цемент       |
| Дуралюмин          | 2,75–2,90    | Серебро                     | 10,4–10,75   | Цинк                   | 6,6–7,1      |
| Золото             | 18,6–19,35   | Слюда                       | 2,8–3,2      | Цинковые сплавы        | 5,25–7,25    |
| Каучук             | 0,93         | Сормайт № 1                 | 7,4          | Чугун ковкий           | 7,2–7,4      |
| Корунд             | 3,9–4,0      | Сормайт № 2                 | 7,6          | Чугун серый            | 6,6–7,4      |
| Латунь             | 8,4–8,85     |                             |              | Эбонит диэлектрический | 1,25         |
| Наждак             | 4,0          |                             |              |                        |              |



1.4. СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕХНИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ

Таблица 1.15

Основные параметры механизмов и машин и их обозначение

| Параметр   | Обозначение   |
|--|---|
| Ведущие звенья: (диаметр, окружная скорость, угловая скорость, мощность, вращающий момент на ведущем валу) | $d_1, v_1, \omega_1, P_1, M_1$  |
| Ведомые звенья (те же) на ведомом валу   | $d_2, v_2, \omega_2, P_2, M_2$  |
| Коэффициент полезного действия (КПД) одного звена  | $\eta = P_2/P_1$  |
| Общий КПД механизма с $n$ звеньями   | $\eta_{общ} = \eta_1 \eta_2 \dots \eta_n$   |
| Окружная скорость ведущего или ведомого звена (м/с)  | $v = \omega d/2$  |
| Угловая скорость (рад/с)   | $\omega = \pi n/30 = 2v/d$  |
| Окружная сила передачи (Н)   | $F_t = P/v$   |
| Вращающий момент $T$ (Н·м)   | $T = P/\omega = F_t d/2 = 9,55P/n$  |
| Передаточное отношение механической передачи   | $u_{12} = \omega_1/\omega_2 = n_2/n_1$<br>$u_{12} = T_2/T_1 = P_2 \omega_1/P_1 \omega_2 = T_2/(\eta T_1)$ |
| Передаточное число цепной передачи   | $u = \omega_1/\omega_2 = z_2/z_1$   |
| Передаточное отношение механизма с $n$ передачами  | $u_{общ} = u_1 u_2 \dots u_n$   |
| Передаточное число зубчатой передачи   | $u = z_2/z_1$   |
| Диаметр делительный прямозубого колеса   | $d_2 = z_2 m$   |
| Диаметр делительный косозубого колеса  | $d_2 = z_2 m/\cos \beta$  |
| Диаметр делительный окружности звездочки   | $d_2 = t/\sin(180/z)$   |
| Мощность электродвигателя (Вт)   | $P_d \geq P = T \omega/\eta = Fv/\eta$  |

Таблица 1.16

Параметры движения

| Прямолинейное   |   |
|---|---|
| Обозначения: $s$ – путь, м; $t$ – время, с; $v_t$ – скорость, м/с; $a$ – ускорение, м/с <sup>2</sup> ;<br>$g$ – ускорение свободного падения, м/с <sup>2</sup> ; $v_0$ – начальная скорость, м/с  |   |
| Параметры   | Формулы   |
| равномерное   | $s = v_t t; t = \frac{s}{v}; (v_t = v = \text{const})$  |
| равномерно-ускоренное ( $v_0 = 0$ )   | $s = \frac{v_t t}{2} = \frac{at^2}{2} = \frac{v_t^2}{2a}; t = \sqrt{\frac{2s}{a}} = \frac{v_t}{a} = \frac{2s}{v_t}; v = \sqrt{2as} = \frac{2s}{t}$  |
| равномерно-ускоренное ( $v_0 \neq 0$ )  | $s = \frac{t(v_0 + v_t)}{2} = v_0 t + 0.5at^2; v_t = v_0 + at; t = \frac{v_t - v_0}{a}$   |
| равномерно-замедленное  | $s = \frac{t(v_0 + v_t)}{2} = v_0 t - 0.5at^2; v_t = v_0 - at; t = \frac{v_0 - v_t}{a}$   |
| Свободное падение – (равномерно-ускоренное)   | $s = 0,5v_t t = 0,5gt^2; t = \sqrt{\frac{2s}{g}}; v = gt$ ; ускорение $g = 9,81$  |
| Вращательное  |   |
| Обозначения: $a_t$ – угловой путь, пройденный радиусом $r$ за время $t$ , рад; $t$ – время, с; $\omega$ – угловая скорость, 1/с; $\varepsilon$ – угловое ускорение, 1/с <sup>2</sup> ; $n$ – частота вращения, мин <sup>-1</sup> ; $v$ – линейная скорость на радиусе $r$ , м/с; $\omega_0$ – начальная угловая скорость, 1/с |   |
| равномерное   | $a_t = \omega \cdot t = \frac{\pi n}{30} t; t = \frac{a_t}{\omega} = \frac{30a_t}{\pi n}; \omega = \frac{a_t}{t} = \text{const}; v = \frac{\pi r n}{30} = r \omega$   |
| равномерно-ускоренное ( $v_0 = 0$ )   | $a_t = \frac{\omega_t t}{2} = \frac{\varepsilon t^2}{2} = \frac{\omega_t^2}{2\varepsilon}; t = \frac{2a_t}{\omega_t} = \sqrt{\frac{2a_t}{\varepsilon}} = \frac{\omega_t}{\varepsilon};$<br>$\omega_t = \frac{2a_t}{t} = \sqrt{2\varepsilon a_t} = \varepsilon t; \varepsilon = \frac{\omega_t}{t} = \frac{2a_t}{t^2} = \frac{\omega_t^2}{2a_t}$ |
| равномерно-ускоренное ( $v_0 \neq 0$ )  | $a_t = \frac{(\omega_0 + \omega_t)t}{2} = \omega_0 t + \frac{\varepsilon t^2}{2} = \frac{\omega_t^2}{2\varepsilon}; t = \frac{\omega_t - \omega_0}{\varepsilon};$<br>$\omega_t = \omega_0 + \varepsilon t = \frac{a_t}{t} + \frac{\varepsilon t}{2}; \varepsilon = \frac{\omega_t - \omega_0}{t} = 2 \frac{a_t - \omega_0 t}{t^2}$              |
| равномерно-замедленное  | $a_t = \frac{(\omega_0 + \omega_t)t}{2} = \omega_0 t - \frac{\varepsilon t^2}{2}; t = \frac{\omega_0 - \omega_t}{\varepsilon};$<br>$\omega_t = \omega_0 - \varepsilon t = \frac{a_t}{t} - \frac{\varepsilon t}{2}; \varepsilon = \frac{\omega_0 - \omega_t}{t} = 2 \frac{\omega_0 t - a_t}{t^2}$  |

Расчет сил простейших механизмов (без учета трения)

| Рычаги и блоки |                    |   |   |
|----------------|--------------------|---|---|
| Эскизы         | Механизмы          | Формулы   |   |
|                |                    | Силы  | Перемещения   |
| 1              | Рычаг первого рода | $P = Q \frac{a}{l}; b = \frac{Ql}{Q+P}; a = \frac{Pl}{Q+P}$ | $S_p = -S_Q \frac{b}{a}; S_Q = -S_p \frac{a}{b}$    |
| 2, 3           | Рычаг второго рода | $P = Q \frac{b}{a}; a = \frac{Ql}{P-Q}; b = \frac{Pl}{P-Q}$ | $S_p = -S_Q \frac{a}{b}; S_Q = S_p \frac{b}{a}$     |
| 4              | Ворот              | $P = Q \frac{r}{R}$   | $S_p = -S_Q \frac{R}{r}$                            |
| 5              | Блоки              | $P = Q$   | $S_p = -S_Q$  |
| 6              |                    | $P = \frac{Q}{2^n}$   | $S_p = -S_Q 2^n; n - \text{число подвижных блоков}$ |
| 7              |                    | $P = \frac{Q}{2 \cos \alpha}$                               | $S_p = -2S_Q \cos \alpha$                           |

Таблица 1.18

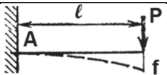
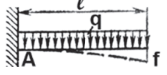
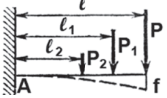
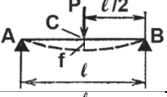
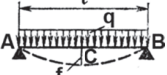
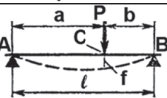
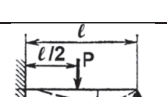
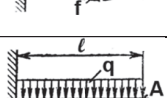
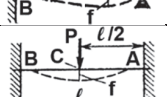
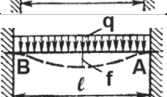
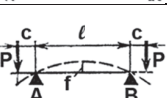
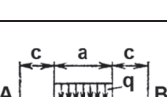
Расчет сил простейших механизмов (без учета трения)

| Винтовые и клиновые механизмы |   |   |   |   |   |
|-------------------------------|---|---|---|---|---|
| 1                             | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|                               |   |   |   |   |   |

| Эскизы | Формулы  | Эскизы | Формулы  |
|--------|--|--------|--|
| 1      | $P = Q \frac{h}{l} = Q \sin \alpha$                            | 4      | $P = \frac{Qt}{2\pi R}$ ; $t$ - шаг винта        |
| 2      | $P = Q \frac{h}{l} = Q \operatorname{tg} \alpha$               | 5      | $P = Q \frac{b}{l} = Q \sin \alpha$              |
| 3      | $P = Q \frac{\sin \alpha}{\cos \beta}$ ; $P_1 = Q \sin \alpha$ | 6      | $P = Q \frac{b}{h} = Q \operatorname{tg} \alpha$ |

Таблица 1.19

Расчет балок под нагрузкой

| Схема нагружения  | Реакции опор<br>Изгибающий момент  | Допускаемая<br>нагрузка                     | Максимальный<br>прогиб  | Опасное<br>сечение |
|---|--|---|---|--------------------|
|    | $A = P$ ; $M_{max} = Pl$   | $P_{\text{д}} = \frac{\sigma_u Z}{l}$       | $\frac{Pl^3}{3EJ}$  | A                  |
|    | $A = Q = ql$ ; $M_{max} = 0,5Ql$   | $Q_{\text{д}} = \frac{2\sigma_u Z}{l}$      | $\frac{Pl^3}{8EJ}$  | A                  |
|    | $A = P_1 + P_2 + P$ ;<br>$M_{max} = Pl + P_1 l_1 + P_2 l_2$                | --  | $\frac{Pl^3 + P_1 l_1^3 + P_2 l_2^3}{3EJ}$                                  | A                  |
|    | $A = B = 0,5Q$ ;<br>$M_{max} = 0,25Pl$                                     | $P_{\text{д}} = \frac{4\sigma_u Z}{l}$      | $\frac{Pl^3}{48EJ}$   | C                  |
|    | $A = B = 0,5Q$ ; $Q = ql$ ;<br>$M_{max} = 0,125Ql$                         | $Q_{\text{д}} = \frac{8\sigma_u Z}{l}$      | $\frac{5Ql^3}{384EJ}$   | C                  |
|  | $A = \frac{Pb}{l}$ ; $B = \frac{Pa}{l}$ ;<br>$M_{max} = \frac{Pab}{l}$     | $P_{\text{д}} = \frac{\sigma_u Z l}{ab}$    | $\frac{Pa^2 b}{3EJ l}$  | C                  |
|  | $A = \frac{5P}{16}$ ; $B = \frac{11P}{16}$ ;<br>$M_{max} = \frac{3Pl}{16}$ | $P_{\text{д}} = \frac{16\sigma_u Z}{l}$     | $\frac{7Pl^3}{768EJ}$   | A                  |
|  | $A = 3,75Q$ ; $B = 0,625Q$ ;<br>$Q = ql$ ; $M_{max} = 0,125Ql$             | $Q_{\text{д}} = \frac{8\sigma_u Z}{l}$      | $\frac{Ql^3}{185EJ}$  | B                  |
|  | $A = B = 0,5P$ ;<br>$M_{max} = 0,125Pl$                                    | $P_{\text{д}} = \frac{8\sigma_u Z}{l}$      | $\frac{Pl^3}{192EJ}$  | A,B,C              |
|  | $A = B = 0,5Q$ ; $Q = ql$ ;<br>$M_{max} = \frac{Ql}{12}$                   | $Q_{\text{д}} = \frac{12\sigma_u Z}{l}$     | $\frac{Ql^3}{384EJ}$  | A,B,C              |
|  | $A = B = P$ ;<br>$M_{max} = Pc = const$                                    | $P_{\text{д}} = \frac{\sigma_u Z}{c}$       | $f_1 = \frac{Pl^3 c}{8EJ}$ ;<br>$f_2 = \frac{Pc^3}{3EJ} (c + \frac{3l}{2})$ | Все сечения        |
|  | $A = B = 0,5Q$ ; $Q = qa$ ;<br>$M_{max} = 0,125Q(2l - a)$                  | $Q_{\text{д}} = \frac{8\sigma_u Z}{2l - a}$ | $\frac{Q}{384EJ} (8l^3 - 4l^2 a + a^3)$                                     | D                  |

Примечание. Формулы для определения J и Z приведены в табл. 1.21, E - в табл.1.8.

1.5. РАСЧЕТ ПРЯМЫХ СТЕРЖНЕЙ ПОСТОЯННОГО СЕЧЕНИЯ НА УСТОЙЧИВОСТЬ

В общем случае величину критической силы  $P_{кр}$ , при которой прямолинейная форма стержня становится неустойчивой, определяют по формуле Эйлера:

$$P_{кр} = \frac{\pi^2 EJ}{l_{np}^2},$$

где  $E$  – модуль продольной упругости материала стержня (модуль Юнга);  $J$  – минимальный осевой момент инерции поперечного сечения стержня;  $l_{np}$  – приведенная длина стержня ( $l_{np} = \nu l$ , здесь  $\nu$  – коэффициент приведения, зависящий от схемы нагружения и закрепления стержня, (табл. 1.20).

Критическое напряжение

$$\sigma_{кр} = \frac{P_{кр}}{F} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2},$$

где  $\lambda = \frac{l_{np}}{i}$  – гибкость стержня ( $i$  – минимальный радиус поперечного сечения стержня, см. табл. 1.21).

Таблица 1.20

Схемы нагружения и закрепления стержней

| Схема | $P_{кр}$                | $l_{np}$ | $J$                     | Схема | $P_{кр}$                | $l_{np}$ | $J$                     |
|-------|-------------------------|----------|-------------------------|-------|-------------------------|----------|-------------------------|
|       | $\frac{\pi^2 EJ}{l^2}$  | $l$      | $\frac{Pl^2}{\pi^2 E}$  |       | $\frac{4\pi^2 EJ}{l^2}$ | $0,5l$   | $\frac{Pl^2}{2\pi^2 E}$ |
|       | $\frac{\pi^2 EJ}{4l^2}$ | $2l$     | $\frac{4Pl^2}{\pi^2 E}$ |       | $\frac{2\pi^2 EJ}{l^2}$ | $0,7l$   | $\frac{Pl^2}{2\pi^2 E}$ |
|       | $\frac{\pi^2 EJ}{l^2}$  | $l$      | $\frac{Pl^2}{\pi^2 E}$  |       | $\frac{4\pi^2 EJ}{l^2}$ | $0,5l$   | $\frac{Pl^2}{4\pi^2 E}$ |

Примечание. Обозначения:  $P_{кр}$  – критическая сила;  $l_{np}$  – приведенная длина стержня;  $J$  – минимальный допустимый осевой момент инерции поперечного сечения стержня при силе  $P$ .

Таблица 1.21

Осевые моменты, моменты сопротивления и минимальный радиус инерции профилей

| Эскиз | Осевой момент инерции, см <sup>4</sup>   | Момент сопротивления, см <sup>3</sup>  | Минимальный радиус инерции поперечного сечения, см     |
|-------|--|--|--|
|       | $J_x = \frac{bh^3}{12}; J_y = \frac{b^3h}{12}$   | $Z_x = \frac{bh^2}{6}; Z_y = \frac{b^2h}{6}$   | $i_x = \frac{h}{\sqrt{12}}; i_y = \frac{b}{\sqrt{12}}$ |
|       | $J_x = J_y = \frac{h^4}{12}$   | $Z_x = Z_y = \frac{h^3}{6}$  | $i_x = i_y = \frac{h}{12}$                             |
|       | $J_x = J_y = \frac{h^4}{12}$   | $Z_x = Z_y = \frac{h^3\sqrt{2}}{12}$   | $i_x = i_y = \frac{h}{\sqrt{12}}$                      |
|       | $J_x = J_y = \frac{\pi d^4}{64}$   | $Z_x = Z_y = \frac{\pi d^3}{32}$   | $i_x = i_y = \frac{d}{4} = \frac{r}{2}$                |
|       | $J_x = J_y = \frac{\pi}{64} (d^4 - d_1^4);$<br>$J_x = J_y = \frac{\pi}{4} (r^4 - r_1^4)$ | $Z_x = Z_y = \frac{\pi (d^4 - d_1^4)}{32d};$<br>$Z_x = Z_y = \frac{\pi (r^4 - r_1^4)}{4r}$ | $i_x = i_y = \frac{\sqrt{d^2 - d_1^2}}{4}$             |



|   |   |  |  |
|---|---|--|--|
| 6 | $J_x = J_y = 0,5431r^4$   | $Z_x = 0,6250r^3$<br>$Z_y = 0,5413r^3;$  | $i_x = i_y = 0,4565r$  |
| 7 | $J_x = \frac{1}{3}[d(H-l)^3 + Bl^3 - (l-d)^3];$<br>$J_y = \frac{1}{3}[d(B-l_2)^3 + Hl_2^3 - h(l_2-d)^3];$<br>$J_s = \frac{J_y \cos^2 \alpha - J_x \sin^2 \alpha}{\cos 2\alpha};$<br>$J_z = \frac{J_x \cos^2 \alpha - J_y \sin^2 \alpha}{\cos 2\alpha};$ | $Z_x = \frac{J_x}{l_1};$<br>$Z_y = \frac{J_y}{l_2};$<br>$Z_s = \frac{J_s}{p};$<br>$Z_z = \frac{J_z}{s};$ | $i_x = \sqrt{\frac{J_x}{F}};$<br>$i_y = \sqrt{\frac{J_y}{F}};$<br>$i_s = \sqrt{\frac{J_s}{F}};$<br>$i_z = \sqrt{\frac{J_z}{F}};$<br>$F = d(b+H)$ |
| 8 | $J_x = \frac{1}{12}(BH^3 - bh^3);$<br>$J_y = \frac{1}{12}(dB^3 - hs^3);$  | $Z_x = \frac{BH^3 - bh^3}{6H};$<br>$Z_y = \frac{dB^3 - hs^3}{6B};$                                       | $i_x = \sqrt{\frac{BH^3 - bh^3}{12(BH - bh)}};$<br>$i_y = \sqrt{\frac{dB^3 + hs^3}{12(BH - bh)}};$   |
| 9 | $J_x = \frac{1}{12}(BH^3 - bh^3);$<br>$J_y = \frac{1}{12}(Hs^3 - db^3) + Hs(l_1 - \frac{s}{2})^2 + bd(l_2 - \frac{b}{2})^2;$<br>$J_z = \frac{1}{3}[Hl_1^3 - h(l_1 - s)^3 + dl_2^3]$   | $Z_x = \frac{BH^3 - bh^3}{6H};$<br>$Z_{y1} = \frac{J_y}{l_1};$<br>$Z_{y2} = \frac{J_y}{l_2};$            | $i_x = \sqrt{\frac{BH^3 - bh^3}{12(BH - bh)}};$<br>$i_y = \sqrt{\frac{J_y}{F}};$<br>$F = BH - bh$  |

## Глава 2 МАШИНЫ И ИХ УСТРОЙСТВО

### 2.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В своей деятельности человек создавал технические устройства, облегчающие труд и повышающие его физические возможности. Для приведения в действие этих устройств человек применял силу своих мускулов или преобразовывал и использовал силы природы (воду, ветер).

Так появились машины, которые состоят из *привода*, преобразующего различные виды энергии в энергию движения, *исполнительных механизмов* – рабочих органов, выполняющих полезную работу, и *механических передач*, которые преобразовывают и передают энергию движения от привода машины к рабочим органам для выполнения полезной работы.

Приводом называют совокупность устройств, предназначенных для приведения в движение рабочих органов. По виду источника энергии различают электрический, пневматический, гидравлический и другие приводы.

Рабочее движение машины с электрическим приводом выполняется посредством электричества; с пневматическим приводом – сжатым воздухом, а с гидравлическим приводом – жидкостью под давлением.

Энергия движения в производственной машине передается, как правило, от электродвигателя к рабочим органам через взаимодействующие различные детали, которые преобразовывают вращательное движение электродвигателя в движение рабочих органов по определенной закономерности (вращательное другой частоты, поступательное, качательное, прерывистое и др.). Некоторые из деталей являются неподвижными и обеспечивают взаимодействующим подвижным деталям преобразовывать и изменять механическую энергию и направление ее передачи внутри машины в движения рабочих органов. В некоторых случаях взаимодействующие детали для удобства их применения и в соответствии с их назначением конструктивно объединяются в сборочные единицы (узлы), представляющие собой отдельные устройства – механизмы.

Механизмы предназначены для передачи энергии с преобразованием механическими передачами скоростей и законов движения и с соответствующим изменением сил и моментов.

Например, в передней бабке токарного станка (рис.2.1, а) размещены шестискоростная коробка скоростей и шпиндель 13, которые приводят во вращение обрабатываемую деталь, закрепляемую в кулачковом патроне шпинделя 13. При выбранной глубине резания и подаче они обеспечивают, при участии различных механических передач, обработку детали на станке.

Вращение от электродвигателя 1 через ременную передачу 2 и муфту включения 3 передается на вал 5.

Блок из трех шестерен 7, 8 и 9, расположенный на валу 5, с помощью реечной передачи связан с рукояткой 17. Этой рукояткой блок шестерен вводится в зацепление с зубчатым колесом 4 (или 10, или 11), жестко закрепленным на валу 6. Колеса 4 и 12 сопряжены соответственно с колесами 15 и 16, которые передают крутящий момент шпинделю через зубчатую муфту 14, соединенную с рукояткой 18. Если муфта передвинута вправо, то шпиндель получает вращение через зубчатое колесо 16, а если влево – через зубчатое колесо 15. Таким образом, коробка скоростей обеспечивает шесть ступеней частоты вращения шпинделя.

Связь шпинделя и суппорта станка для обеспечения оптимального режима резания осуществляется с помощью механизма подач, состоящего из реверсирующего устройства (трэнзеля) и гитары, которые осуществляют изменение направления и скорости перемещения суппорта.

Привод этого механизма осуществляется от коробки скоростей через трэнзель (рис. 2.1, б), который состоит из четырех зубчатых колес а, б, в, г, связанных с рукояткой 19 (рис. 2.1, а), переключением которой осуществляется реверс (т. е. изменение направления вращения) вала 20 (приводного вала суппорта).

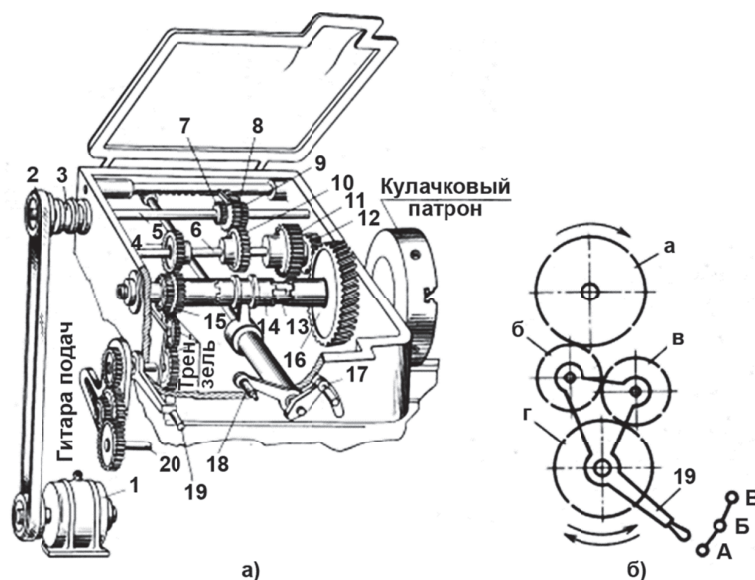


Рис. 2.1. Механизмы:

а – коробка скоростей токарного станка, б – трэнзель

При крайнем нижнем положении рукоятки 19 (положение А) зубчатые колеса  $a$ ,  $b$ ,  $в$ ,  $г$  соединены последовательно и направление вращения вала 20 совпадает с направлением вращения шпинделя. При верхнем положении рукоятки 19 (положение В) соединены только зубчатые колеса  $a$ ,  $в$ ,  $г$  и направление вращения вала 20 изменяется на противоположное. В среднем положении рукоятки 19 (положение Б) зубчатые колеса  $b$  и  $в$  не соединяются с зубчатым колесом  $a$  и вал 20 не вращается.

С помощью гитары устанавливают (настраивают) сменные зубчатые колеса с определенным передаточным отношением, которым задают частоту вращения вала 20 для обеспечения необходимого перемещения суппорта на один оборот шпинделя.

## 2.2. МЕХАНИЧЕСКИЕ ПЕРЕДАЧИ. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Широкое применение механических передач в машинах определяется необходимостью:

- 1) при оптимальной частоте вращения электродвигателя получать частоту вращения, требуемую для вращения или перемещения рабочего органа машины;
- 2) большинство технологических и транспортных машин требует регулирование частоты вращения; между тем регулирование частоты вращения электродвигателем оказывается не всегда возможным и экономичным;
- 3) электродвигатели изготовляются для равномерного вращательного движения, а в машинах часто оказывается необходимым поступательное, винтовое и другие виды движения, движение с заданным законом изменения скоростей и т. д.;
- 4) электродвигатели из условия габаритов, техники безопасности и т. д. не всегда могут быть непосредственно соединены с рабочими органами машины.

Механические передачи в машинах применяются для передачи и преобразования вращательного движения, а также для преобразования вращательного движения в поступательное или наоборот.

Механические передачи бывают двух типов:

*передачи с зацеплением*, работающие с использованием прочностных характеристик зубьев, выступов и витков, по которым осуществляется контакт деталей, передающих и воспринимающих нагрузку. К ним относятся передачи зубчатого зацепления, цепные, винтовые, кулисные, кулачковые и др.;

*передачи фрикционные*, работающие с использованием сил трения, возникающих в результате коэффициента трения и силы взаимного давления трущихся поверхностей деталей для передачи полезной нагрузки. К ним относятся шаровые, дисковые и ременные вариаторы, ременные передачи гибкой связи и др.

**Зубчатые передачи** (рис. 2.2), работающие зацеплением зубьев, используют для изменения частоты и направления вращения при передаче движения от ведущего к ведомому валу, которые могут быть расположены параллельно друг к другу или под углом.

Передаточное отношение зубчатых колес, находящихся в зацеплении, определяет по формуле  $u = n_1 / n_2 = z_2 / z_1$ , где  $n_2$  и  $n_1$  – соответственно частота вращения ведомого и ведущего зубчатых колес, а  $z_2$  и  $z_1$  – соответственно числа их зубьев.

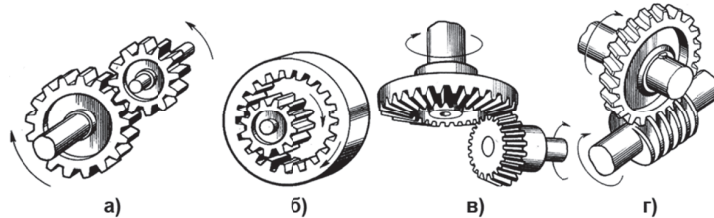


Рис. 2.2. Зубчатые передачи (а – г) для вращательных движений

Зубчатые колеса, зубья которых располагаются параллельно оси вращения, называются прямозубыми цилиндрическими и косозубыми, если зубья не параллельны оси вращения. Они могут быть наружного (рис. 2.2, а) и внутреннего (рис. 2.2, б) зацепления. Для передачи вращения валами, расположенными под углом, служат конические передачи (рис. 2.2, в), которые могут быть выполнены с прямыми и криволинейными зубьями. Для передачи вращения перекрещивающимся валам, служат червячные передачи (рис. 2.2, г).

**Ременные передачи** используют для преобразования вращательного движения в поступательное (рис. 2.3, а). Ременная передача может быть выполнена с прямозубым или косозубым зацеплением цилиндрического колеса с рейкой.

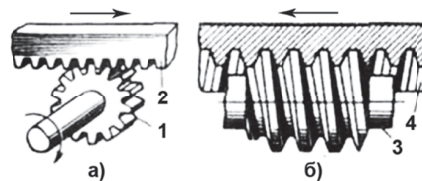


Рис. 2.3. Зубчатые передачи для преобразования вращательного движения в поступательное:  
а – ременная с цилиндрическим зубчатым колесом 1, б – ременная с червяком 3

Перемещение рейки 2 определяют по формуле  $S = 2\pi m z n$ , где  $m$  – модуль,  $z$  – число зубьев колеса 1,  $n$  – частота вращения зубчатого колеса. Для ременной передачи с червяком 3 (рис. 2.3, б) перемещение рейки 4 определяют по формуле  $S = \pi t z n$ , где  $z$  – число заходов червяка.

**Винтовые передачи** используют также для преобразования вращательного движения в поступательное, она состоит из винта 1 и гайки 2 (рис. 2.4, а) и является парой скольжения. При одном обороте винта или гайки сопрягаемый элемент перемещается на шаг резьбы.

В винтовой передаче ведущим звеном может служить как винт, так и гайка. Наиболее распространенной является передача от винта к гайке. В этом случае ведущим звеном является винт, который только вращается, преобразуя вращательное движение в поступательное движение гайки.

Гайки винтовой передачи в станках имеют две основные конструкции – неразъемные и разъемные.

В винтовой паре скольжения затрачиваются значительные усилия на преодоление сил трения, которые приводят к износу витков сопрягаемых элементов и увеличению зазоров.

Для обеспечения точности и стабильности поступательного перемещения рабочих органов применяют передачу винт – гайка качения, у которой винт и гайка сопрягаются посредством шариков и обеспечивают высокую осевую жесткость и равномерность движения.

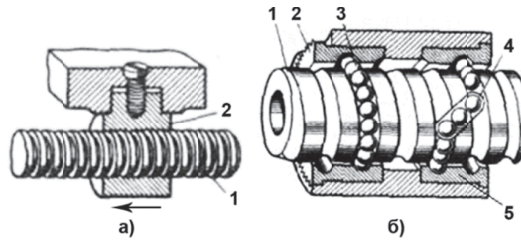


Рис. 2.4. Винтовая передача:  
а – скольжения; б – качения

В передаче винт – гайка качения (рис. 2.4, б), между рабочими винтовыми поверхностями винта 1 гайки 2 и гайки 5 помещены стальные шарики 3. При вращении винта шарики перекатываются по винтовой поверхности винта и гайки и передают поступательное перемещение закрепленным в корпусе гайкам 2 и 5.

При движении скорость перемещения шариков отличается от скорости ведущего и ведомого звеньев, поэтому необходимо обеспечить постоянную циркуляцию шариков. Для этого концы рабочей части резьбы гайки соединены возвратным каналом, помещенным во вкладыше 4.

При движении шарики перекатываются через выступ резьбы винта и снова входят в рабочую зону, циркулируя в пределах соединенных витков гайки. Выборку зазора в передаче осуществляют поворотом гайки 2 относительно гайки 5. Эти гайки создают натяг, обеспечивающий большую осевую жесткость.

**Цепные передачи** работают зацеплением и служат для изменения частоты вращения при передаче вращения от ведущего вала к ведомому, расположенных на значительном расстоянии друг от друга.

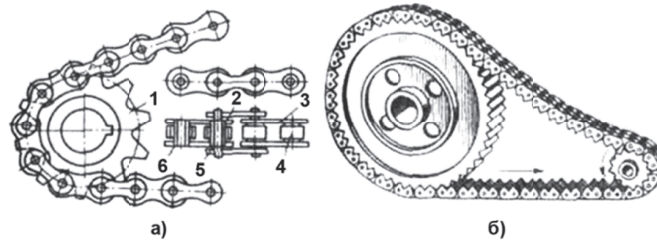


Рис. 2.5. Цепная передача  
а – с втулочно-роликковой цепью; б – с зубчатой цепью

Цепная передача (рис. 2.5, а) состоит из звездочек 1, насаженных на ведущий и ведомый валы и соединенных втулочно-роликковой цепью.

Цепь состоит из наружных 2 и внутренних 3 звеньев, соединенных втулкой 6 с роликом 4 на оси поворота 5. Звездочки могут быть соединены также зубчатой цепью (рис. 2.5 б), которая по своей работоспособности превосходит втулочно-роликковые и работает при больших окружных скоростях и при меньшем шуме.

Передаточное отношение цепной передачи определяют по формуле  $u = n_1 / n_2 = z_2 / z_1$ , где  $n_2$  и  $n_1$ ,  $z_2$  и  $z_1$  – соответственно частота вращения и число зубьев ведомой и ведущей звездочек.

**Ременные передачи** относят к передачам фрикционным. В машинах их применяют в основном для изменения частоты вращения при передаче движения от электродвигателя к коробке скоростей.

Ременная передача состоит из ведущего А и ведомого В шкивов и соединяющего их бесконечного ремня (рис. 2.6, а), который может быть плоским (рис. 2.6, б), состоять из набора клиновых ремней (рис. 2.6, в), поликлиновым (2.6, г) и зубчатым (2.6, д).

Оба шкива ременной передачи вращаются в одну сторону. Частота вращения ведомого шкива может быть больше или меньше частоты вращения ведущего в зависимости от соотношения диаметров шкивов.

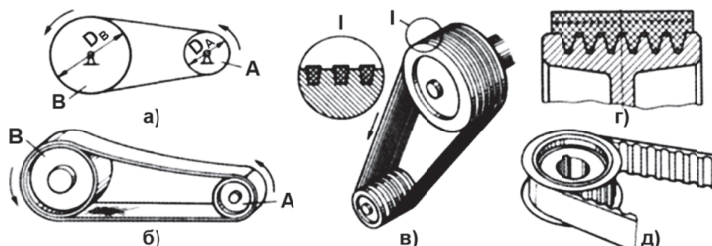


Рис. 2.6. Ременные передачи (а – д)



Отношение частоты  $n_A$ , вращения ведущего шкива к частоте  $n_B$ , вращения ведомого шкива называют передаточным отношением  $u$  ременной передачи, которое обратно пропорционально отношению диаметров шкивов:  $u = n_A/n_B = D_B/D_A$ .

**Вариаторы** – фрикционные механизмы, в которых для передачи движения от ведущего к ведомому валу применяют специальные ремни, цепи и кольца для бесступенчатого изменения частоты вращения выходного вала.

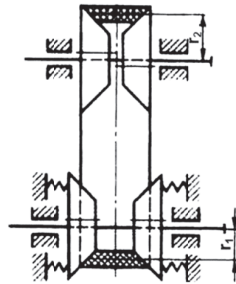


Рис. 2.7. Фрикционный вариатор

Осевое сближение одной пары конусных шкивов вызывает осевое удаление другой пары шкивов. Этим соответственно изменяются радиусы контактов  $r_1$  и  $r_2$  ремня со шкивами, чем определяется изменение передаточного отношения  $u = r_1/r_2$ .

Пределы изменения частоты вращения выходного вала характеризуются диапазоном регулирования  $D = u_{\max}/u_{\min}$ . Для вариаторов с клиновидными ремнями  $D = 8 \div 15$ .

**Механизмы для преобразования вращательного движения в возвратно-поступательное** (поршневые насосы и компрессоры, кривошипные прессы, пневматические молоты, механизмы подачи станков и др.) и **наоборот** (двигатели внутреннего сгорания, паровые машины и др.).

**Эксцентрикковый механизм** (рис. 2.8, а) служит для преобразования вращательного движения в возвратно-поступательное. Его применяют в станках, штамповочных прессах, в золотниковом и клапанном распределителях машин-двигателей.

Эксцентрикковый механизм представляет собой разновидность кривошипно-шатунного механизма с небольшим радиусом кривошипа.

Разъемный эксцентрикковый механизм (рис. 2.8, а) имеет круглый диск (эксцентрик) 2, сидящий на шпонке 8 и на валу 3. Оси вала и диска не должны совпадать. Расстояние между осями (эксцентриситет) является радиусом кривошипа. Диск охватывается разъемным хомутом 1, скрепляемым болтами 4. С хомутом соединяется шатун 7 (и тяга 6), вилка которого через палец 5 шарнирно соединяется с ползуном, получающим возвратно-поступательное движение (например, с ползуном прессы или с золотником распределения).

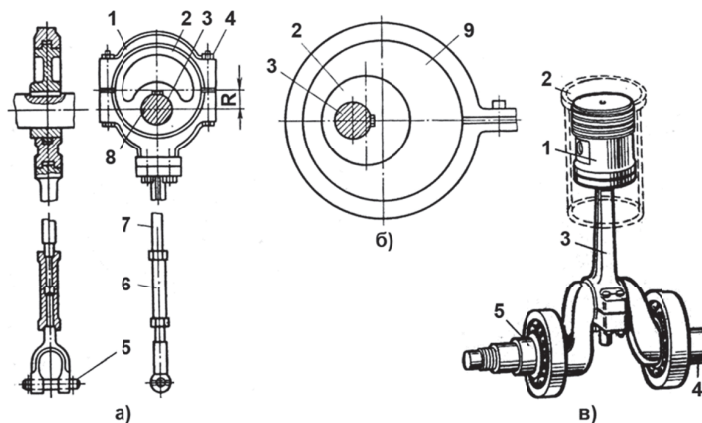


Рис. 2.8. Кривошипно-шатунный механизм (а) и (б) – эксцентрикковые механизмы:

а – с разъемным хомутом; б – с механизмом для регулировки эксцентриситета; в – кривошипно-шатунный механизм

Эксцентрикковый механизм может быть с двумя эксцентриками для регулировки эксцентриситета. Внутренний эксцентрик 2 сидит на валу 3 и охватывается внешним эксцентриком 9, который можно поворачивать и закреплять в различных положениях, что приводит к изменению эксцентриситета, а следовательно, и изменению длины хода ползуна.

Применяется эксцентрикковый механизм в золотниковых парораспределителях и регуляторах нефтяных двигателей. Эксцентрики изготавливаются из чугуна или из углеродистой стали. Внутреннюю поверхность хомута заливают баббитом.

**Кривошипно-шатунный механизм** (рис. 2.8, в) состоит из кривошипного диска или коленчатого вала, с которым соединен шатун 3 с поршнем 1. На поршень надеты поршневые кольца. Поршень перемещается в гильзе 2 цилиндра. Коленчатый вал коренными шейками 4 и 5 располагается в подшипниках. При вращении вала поршень получает возвратно-поступательное движение. Вместо поршня может быть ползун, перемещающийся в прямолинейных направляющих.

**Передача храповым зацеплением** служит для преобразования вращательного движения в возвратно-поступательное. Эта передача позволяет в широком диапазоне изменять частоту вращения или перемещения рабочего органа машины, связанного с храповым механизмом (рис. 2.9). Конструкции и область применения храповых механизмов разнообразны.

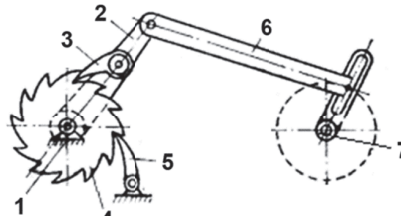


Рис. 2.9. Передача с храповым зацеплением

Передача храповым зацеплением состоит из ведомого вала  $I$ , – качающегося рычага с защелкой  $2$ , храпового колеса  $4$ , фиксатора  $5$ , кулисы  $6$  и ведущего вала  $7$ .

**Муфты** служат для постоянного или периодического соединения валов между собой (с зубчатыми колесами и шкивами), чтобы передать вращение без изменения направления и частоты вращения.

Втулочная муфта (рис. 2.10, *а*) предназначена для передачи вращения с вала  $I$  на вал  $II$  с помощью втулки  $1$  и шпонок  $2$ .

Втулочно-пальцевая муфта (рис. 2.10, *б*) состоит из полумуфт  $3$  и  $4$ . С помощью резиновых колец  $5$ , установленных на пальцах  $6$ , муфта амортизирует ударную нагрузку, передаваемую с вала  $I$  на вал  $II$ . Упругая муфта смягчает толчки и удары.

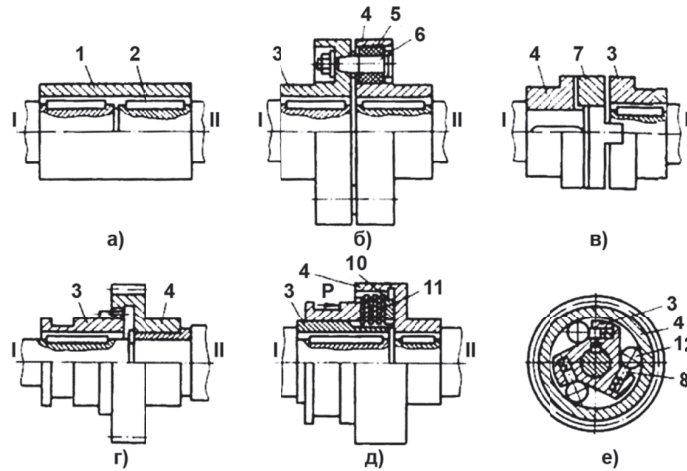


Рис. 2.10. Муфты

Если оси ведущего и ведомого валов расположены со смещением от оси вращения, то применяют муфту (рис. 2.10, *в*), каждая половина которой жестко закреплена на конце вала. Полумуфты  $1$  и  $3$  сопряжены между собой диском  $7$ , имеющим крестообразно расположенные выступы, которые входят в пазы полумуфт.

Зубчатую муфту применяют для периодического соединения валов (рис. 2.10, *з*). Левая полумуфта  $3$  при перемещении вправо наружными зубьями входит в зацепление с внутренними зубьями правой полумуфты  $4$ . Зубчатая муфта является универсальной компенсирующей муфтой, которая допускает в определенных пределах осевое, радиальное и угловое смещение валов за счет зазора в зацеплении полумуфт  $3$  и  $4$  с внутренними и наружными зубьями.

В фрикционной муфте (рис. 2.10, *д*) передачу вращения выполняют фрикционные диски. Диски  $10$  с внутренними выступами соединены с полумуфтой  $3$ , а диски  $11$  с наружными выступами – с полумуфтой  $4$ . Величина передаваемой нагрузки с вала  $I$  на вал  $II$  определяется силой  $P$  сжатия дисков.

Механизмы обгона применяют в тех случаях, когда валу, имеющему медленное вращение, требуется периодически сообщать быстрое вращение. Обгонная муфта (рис. 2.10, *е*) соединяется полумуфтой  $3$  с одним валом и полумуфтой  $4$  – с другим. Между полумуфтами располагаются ролики  $12$ , которые заклиниваются между полумуфтами усилием пружины  $8$  при вращении полумуфты  $3$  по часовой стрелке. При вращении полумуфты  $4$  в том же направлении, но с большей частотой, ролики  $12$  увлекаются движением полумуфты  $4$  в более широкую часть выемки, при этом полумуфта  $4$  свободно вращается относительно полумуфты  $3$ .

**Реверсивные и кулачковые механизмы** служат для изменения направления движения механизмов станка. Чаще всего реверсирование осуществляется с помощью цилиндрических или конических зубчатых колес.

В механизме с цилиндрическими зубчатыми колесами (рис. 2.11, *а*) муфта  $M$  может соединить с верхним валом зубчатое колесо  $z_1$ . При этом вращение будет передаваться с верхнего вала через муфту  $M$  и зубчатую передачу  $z_1$  и  $z_2$  на нижний вал. Если муфта  $M$  соединяет с верхним валом зубчатую передачу  $z_3$ ,  $z_3'$  и  $z_4$ , нижний вал вращается в противоположном направлении.

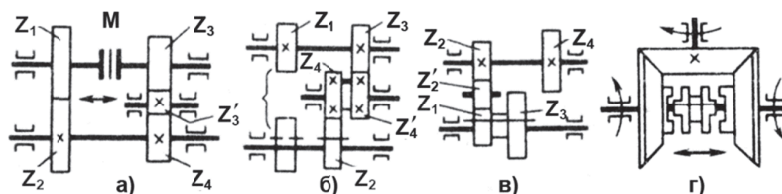


Рис. 2.11. Кинематические схемы (а-г) реверсивных механизмов

Реверсивный механизм, изображенный на рис. 2.11, б, изменяет направление вращения нижнего вала при перемещении скользящего колеса  $z_2$ , которое входит в зацепление с колесом  $z_1$  или колесом  $z_4$ .

На рис. 2.11, в приведена кинематическая схема реверсивного механизма, у которого изменение направления вращения нижнего вала может быть осуществлено зацеплением скользящего блока зубчатых колес  $z_1$  и  $z_3$  либо с зубчатыми колесами  $z_4$ , либо с паразитным зубчатым колесом  $z_2'$ .

На рис. 2.11, г показана схема реверсивного механизма, составленного из конических зубчатых колес и кулачковой муфты. Направление вращения горизонтального вала изменяется переключением кулачковой муфты.

**Кулачковые механизмы** служат для преобразования вращательного движения кулачка в поступательное перемещение механизмов или рабочих органов машины. В кулачковых механизмах применяются плоские (рис 2.12, а), цилиндрические (рис. 2.12, б) или торцовые кулачки (рис. 2.12, в).

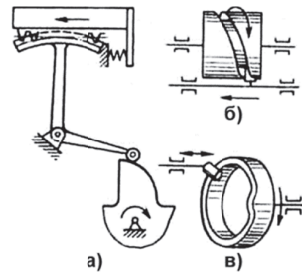


Рис. 2.12. Кулачковые механизмы

### 2.3. КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ПАРЫ, КИНЕМАТИЧЕСКАЯ СХЕМА

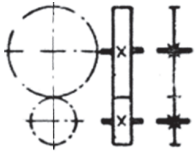
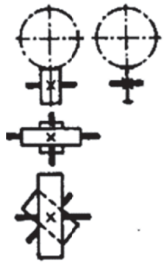
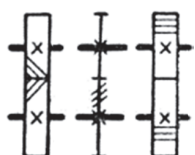


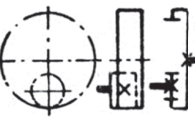
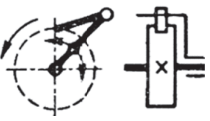
Для рассмотрения процесса передачи механической энергии внутри машины взаимодействующие детали и сборочные единицы принято рассматривать парами.

Кинематической парой называют подвижное соединение двух соприкасающихся звеньев. Свойства пары зависят от формы тех поверхностей, которыми звенья соприкасаются при своем возможном относительном движении. Пара, в которой отсутствует относительное движение между соприкасающимися звеньями, называется соединением. Звенья могут состоять из отдельных деталей или нескольких деталей, неподвижно скрепленных друг с другом. Для графического изображения кинематических пар применяют условные обозначения (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Условные обозначения кинематических пар механических передач

|  |  |   |  |
|--|--|---|--|
| <p>Передача плоским ремнем:<br/>а – открытая;<br/>б – открытая с натяжным роликком</p>                   |  | <p>Коническая передача – зубчатое зацепление между валами, оси которых пересекаются (обозначение без уточнения типа зубьев)</p> |  |
| <p>Передача клиновидными ремнями</p>   |  | <p>Передача реечная (обозначение, без уточнения типа зубьев)</p>  |  |
| <p>Передача цепью<br/>а – общее обозначение без уточнения типа;<br/>б – роликовой;<br/>в – бесшумной</p> |  | <p>Передача червячная с цилиндрическим червяком</p>   |  |

|  |   |   |   |
|--|---|---|---|
| <p>Передачи зубчатые (цилиндрические) между параллельными валами:<br/> <math>a</math> – внешнее зацепление (обозначение без уточнения типа зубьев)</p> |  | <p>Передача зубчатая винтовая</p>   |    |
| <p>То же:<br/> <math>b</math> – с винтовыми и прямыми зубьями</p>  |  | <p>Передача винт-гайка скольжения:<br/> <math>a</math> – неразъемная;<br/> <math>b</math> – разъемная</p> | <p>а) </p> <p>б) </p> |
| <p>То же:<br/> <math>b</math> – внутреннее зацепление</p>  |  | <p>Передача храповым зацеплением</p>  |    |

В кинематических парах следует различать ведущие и ведомые звенья. Звено, задающее движение в кинематической паре, называют ведущим, а звено, получающее движение, – ведомым или иногда рабочим.

Система подвижно соединенных звеньев представляет собой кинематическую цепь. Если кинематическая цепь предназначена для получения вполне определенных движений ведомых звеньев, ее называют механизмом.

Кинематические цепи, вычерченные с использованием условных обозначений кинематических пар, называют кинематическими схемами. Кинематические схемы представляют собой систему последовательно расположенных взаимодействующих звеньев, связывающих рабочие звенья с источником движения (рис. 2.13).

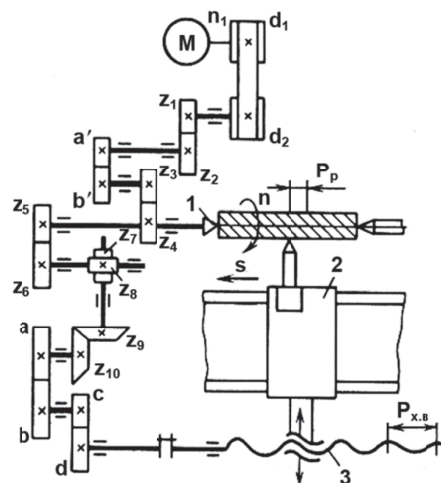


Рис 2.13. Упрощенная кинематическая схема токарно-винторезного станка

На рис. 2.13 приведена упрощенная кинематическая схема нарезания резьбы на токарно-винторезном станке. Главное движение (вращение шпинделя с заготовкой 1) осуществляется от электродвигателя  $M$  через ременную передачу со шкивами  $d_1$  и  $d_2$ , зубчатые колеса  $z_1$  и  $z_2$ , сменные зубчатые колеса  $a'$  и  $b'$ , зубчатые колеса  $z_3$  и  $z_4$ . Продольное перемещение резца (движение подачи) производится передачей вращения от шпинделя через зубчатые колеса  $z_5$  и  $z_6$ ; винтовые конические колеса  $z_7$  и  $z_8$ ,  $z_9$  и  $z_{10}$ ; сменные зубчатые колеса  $a$  и  $b$ ,  $c$  и  $d$  к ходовому винту 3. Вращательное движение ходового винта преобразуется в поступательное перемещение суппорта 2 с резцом.

## 2.4. ОСНОВНЫЕ КИНЕМАТИЧЕСКИЕ И СИЛОВЫЕ СВЯЗИ В МЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧАХ

Во всех механических передачах различают два основных звена: *входное (ведущее)* и *выходное (ведомое)*. Между этими звеньями в многоступенчатых передачах располагаются промежуточные звенья. Звенья, передающие вращающий момент, называют *ведущими*, а звенья, приводимые в движение от ведущих, – *ведомыми*.

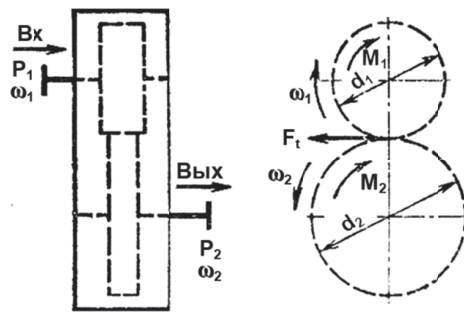


Рис.2.14. Параметры передачи

Параметры передачи, относящиеся к ведущим звеньям, будем отмечать индексом 1, а к ведомым – индексом 2, т. е.  $d_1, v_1, \omega_1, P_1, M_1$  – соответственно диаметр, окружная скорость, угловая скорость, мощность, вращающий момент на ведущем валу;  $d_2, v_2, \omega_2, P_2, M_2$  – то же, на ведомом.

Любая механическая передача характеризуется следующими основными параметрами (рис.2.14): *мощностью*  $P_2$  – на выходе, кВт; *быстроходностью*, которая выражается угловой скоростью ведомого вала  $\omega_2$ , рад/с, или *частотой вращения*  $n$ , измеряемой в  $\text{мин}^{-1}$  (об/мин), и *передаточным отношением*  $u$ .

Это три основные характеристики, необходимые для проекровочного расчета любой передачи.

Кроме основных характеристик различают производные характеристики, которыми часто пользуются при расчетах.

Коэффициент полезного действия (КПД)  $\eta = P_2/P_1$ .

Для многоступенчатой передачи, состоящей из нескольких отдельных последовательно соединенных передач (см., например, рис. 2.13), общий КПД определяют по формуле

$$\eta_{\text{общ}} = \eta_1 \eta_2 \dots \eta_n,$$

где  $\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n$  – КПД каждой кинематической пары, а также других звеньев привода, где имеются потери мощности (подшипники, муфты).

*Окружная скорость* ведущего или ведомого звена (м/с)

$$v = \omega d/2,$$

где  $d$  – диаметр катка, шкива, колеса и др., м.

*Окружная сила* передачи (Н)

$$F_t = P/v,$$

где  $P$  – в Вт.

*Вращающий момент*  $T$  (Н-м)

$$T = P/\omega = F_t d/2 = 9,55P/n,$$

где  $P$  – в Вт;  $d$  – в м;  $\omega = \pi n/30$  – в рад/с.

*Вращающий момент* ведущего вала  $T_1$ , является моментом движущих сил; его направление совпадает с направлением вращения вала. Момент ведомого вала  $T_2$  – *момент сил сопротивления*, поэтому его направление противоположно направлению вращения вала.

В машинах различают моменты и силы сопротивления *реактивные и потенциальные*. К реактивным относятся моменты и силы, противодействующие вращению электропривода, например, моменты и силы трения, сжатия, растяжения и скручивания упругих тел. К потенциальным относятся моменты и силы, вызывающие изменение потенциальной энергии в отдельных элементах системы, например, моменты и силы от веса, от сжатия, растяжения и скручивания упругих тел.

*Передаточным отношением* механической передачи называется отношение угловой скорости ведущего звена к угловой скорости ведомого звена. Передаточное отношение, определяемое в направлении потока мощности от ведущего звена к ведомому, обозначим  $u_{12}$ ; тогда расчетная формула имеет вид

$$u_{12} = \omega_1 / \omega_2 = n_1 / n_2,$$

где  $\omega$  – в рад/с;  $n$  – в  $\text{мин}^{-1}$ .

Если передача многоступенчатая (рис. 2.13), то ее передаточное отношение равно произведению передаточных отношений ступеней, т. е.

$$u_{\text{общ}} = u_1 u_2 \dots u_n,$$

При выполнении кинематических расчетов может возникнуть необходимость в определении угловой скорости ведомого вала при известном диаметре и окружной скорости колеса, шкива, звездочки и т. п.; тогда

$$\omega = 2v/d,$$

где  $v$  – в м/с;  $d$  – в м.

Если заданы шаг цепи  $t$  (мм) и число зубьев звездочки  $z$ , то определяют диаметр делительной окружности звездочки

$$d_z = t / \sin(180/z)$$

и далее угловую скорость ведомого вала –  $\omega$ .

Учитывая, что в большинстве случаев  $v_1 = v_2$  или

$$\omega_1 d_1/2 = \omega_2 d_2/2, \text{ имеем } \omega_1 / \omega_2 = d_2/d_1 = u.$$

При необходимости передаточное отношение можно определить по вращающим моментам на ведущем и ведомом валах.

$$T_1 = P_1 / \omega_1 \text{ и } T_2 = P_2 / \omega_2 \text{ или } T_2 / T_1 = P_2 \omega_1 / P_1 \omega_2.$$

Следовательно,  $u_{12} = T_2 / (\eta T_1)$ .

Итак, передаточное отношение для рассматриваемого примера (рис. 2.14) будет иметь вид

$$u_{12} = \omega_1 / \omega_2 = d_2/d_1 = T_2 / (\eta T_1).$$

При  $u_{12} > 1, \omega_1 > \omega_2$ , – передача понижающая; ее называют *редуктором*.



При  $u_{12} < 1$ ,  $\omega_1 < \omega_2$  – передача повышающая; ее называют *мультипликатором*.

*Передаточным числом* называют отношение числа зубьев большого колеса к числу зубьев меньшего колеса и обозначают той же буквой  $u$ , но без индексов:  $u = z_2/z_1$

где  $z_2$  – число зубьев колеса (большого);  $z_1$  – число зубьев шестерни (меньшего колеса).

Передаточное число в отличие от передаточного отношения всегда положительное и не может быть меньше единицы. Передаточное число характеризует передачу только количественно. Передаточное число и передаточное отношение могут совпадать только у передачи внутреннего зацепления. У передач внешнего зацепления они не совпадают, так как имеют разные знаки: передаточное отношение – отрицательное, а передаточное число – положительное.

Наиболее распространены понижающие передачи, так как частота вращения исполнительного механизма в большинстве случаев меньше частоты вращения вала двигателя.

Если ведущее и ведомое колеса вращаются в одну сторону (например, у зубчатой передачи с внутренним зацеплением, см. рис.2.2. б), то передаточное отношение считается положительным. Если ведомое и ведущее колеса вращаются в разные стороны (например, у зубчатой передачи внешнего зацепления, см. рис.2.2, а), то передаточное отношение считается отрицательным.

Передачи выполняют с постоянным или переменным (регулируемым) передаточным отношением. Как те, так и другие широко распространены.

Передачи с постоянным передаточным отношением применяют, как правило, в редукторах.

*Регулирование передаточного отношения* может быть ступенчатым или бесступенчатым.

*Ступенчатое регулирование* реализуется в коробках передач с зубчатыми колесами (рис. 2.1), в ременных передачах со ступенчатыми шкивами и т. п.

*Бесступенчатое регулирование* – с помощью фрикционных, ременных или цепных вариаторов (рис. 2.7). Заметим, что ступенчатое регулирование дешевле и осуществляется более простыми и надежными механизмами. Механизмы бесступенчатого регулирования позволяют менять угловую скорость на ходу и выбирать оптимальные законы движения исполнительного механизма машины.

Применение того или иного способа регулирования передаточного отношения зависит от конкретных условий работы машины, которую обслуживает передача. Вообще, передаточное отношение следует считать основной кинематической характеристикой передач.

Ступенчатое регулирование передаточного отношения может быть рассмотрено на примере коробки скоростей токарного станка, кинематическая схема которой приведена на рис. 2.15, а. В этой коробке скоростей токарного станка изменение частоты вращения шпинделя производится ступенчато в соответствии с закономерностью, определяемой геометрическим рядом со знаменателем  $\phi$ , т. е.  $n_2 = n_1 \phi$ ;  $n_3 = n_2 \phi = n_1 \phi^2$ ;  $n_4 = n_3 \phi = n_1 \phi^3$  и т.д. Знаменатель  $\phi$  может принимать ряд значений  $\phi = 1,26; 1,41; 1,58$ .

Структурная формула коробки скоростей зависит от диапазона регулирования, определяемого отношением наибольшей частоты вращения рабочего органа машины – шпинделя к наименьшей и выбранного знаменателя  $\phi$ .

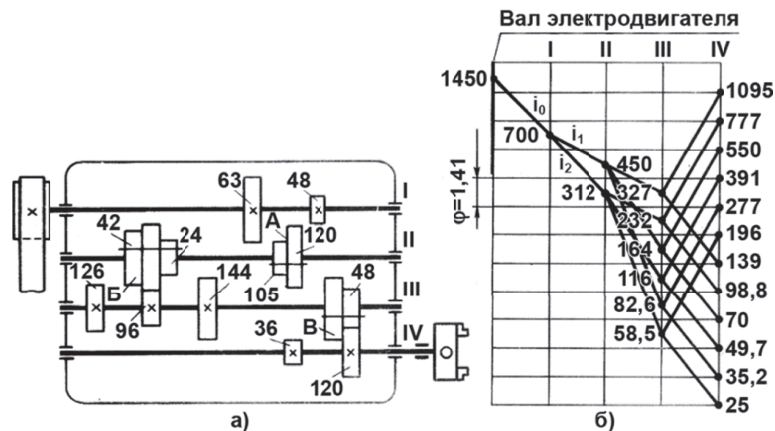


Рис. 2.15. Кинематическая (а) и структурная (б) схемы коробки скоростей токарного станка

Структурная формула характеризуется числом ступеней частоты вращения шпинделя:

$z = p_1 \cdot p_2 \cdot p_3 \dots p_k$ , где  $p_k$  – число ступеней в каждой группе передач между валами.

Структурная формула коробки скоростей, которая приведена на рис. 2.15, б,  $z = 12 = 2 \cdot 3 \cdot 2$  указывает на то, что коробка включает в себя три группы передач ( $p=2$ ;  $p=3$ ;  $p=2$ ).

Валы коробки скоростей обозначены I, II, III, IV; цифрами обозначены числа зубьев колес (см. рис. 2.15, а).

График изменения частоты вращения валов коробки скоростей приведен на рис. 2.15, б. Число вертикальных линий графика соответствует числу валов коробки скоростей, число горизонтальных линий – числу ступеней частот вращения шпинделя. Частота вращения шпинделя изменяется от  $n_1 = 25 \text{ мин}^{-1}$  до  $n_{12} = 1095 \text{ мин}^{-1}$  (см. рис. 2.15, б), причем это изменение соответствует геометрическому ряду с  $\phi = 1,41$ .

Луч, соединяющий на графике две точки соседних валов, обозначает передачу с передаточным отношением  $u = \phi^m$ , где  $m$  – число интервалов (равных  $\phi$ ), перекрываемых этим лучом. Если луч отклоняется вниз, то передача понижающая ( $m < 0$ ), а если – вверх, то передача повышающая ( $m > 0$ ). Если луч горизонтальный, то передаточное отношение равно единице ( $m = 0$ ).

При модернизации или проектировании новых приводов возникает необходимость выбора тех или иных передач. Выбор того или иного вида передачи зависит от конкретных условий работы привода и предъявляемых к нему требований.

К числу общих требований к передачам относятся надежность и необходимая долговечность передачи; простота конструкции; компактность и оптимальные габаритные размеры; малое сопротивление движению, особенно в момент пуска



двигателя; необходимая точность преобразования движения (кинематическая точность); низкий уровень шума при работе и высокая виброустойчивость, а также простота управления, в том числе автоматического и дистанционного.

При выборе типа передачи учитывают технические и технологические требования, предъявляемые к машине, например, постоянство передаточного отношения, бесступенчатое регулирование скорости, КПД, массу, точность изготовления передачи, а также стоимость (червячные передачи при прочих равных условиях дороже простых зубчатых), а также их габаритные размеры.

Важным критерием выбора передач является их безопасность для обслуживающего персонала и окружающей среды.

Требования, предъявляемые к приводу, могут быть выполнены с использованием различных вариантов передач и их кинематических схем. При проектировании привода первоочередной задачей является выбор оптимальных передач на основании оценки их по критериям сравнения.

## 2.5. СОЕДИНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ И ИХ ТИПЫ

Размещение и установку механических передач в машине, а также их взаимную связь обеспечивают детали, которыми производится их соединение при сборке.



Рис. 2.16. Схема наиболее распространенных типов соединений

Основные типы соединений приведены на схеме (рис. 2.16). Типы соединений определяются их названиями на схеме.

Соединения деталей в машине или механизме в зависимости от их конструкции могут быть подразделены на подвижные и неподвижные, которые в свою очередь могут быть представлены как соединения разъемные и неразъемные.

*Разъемными* или разбираемыми называют соединения, которые могут быть разобраны без особых затруднений и без повреждений сопряженных или крепежных деталей. Например, соединения по посадкам с зазором и переходным посадкам, резьбовые и др.

*Неразъемными* или неразборными называют соединения, разборка которых в процессе эксплуатации не предусмотрена и затруднительна, требует больших усилий и сопровождается повреждением сопрягаемых или крепежных деталей, либо крепящего вещества.

*Неподвижные*, неразборные соединения выполняют клепкой, пайкой, посадками с натягом, склеиванием, прессованием, холодной штамповкой и другими способами. Такие соединения отличаются прочностью и стабильностью взаимного расположения соединяемых деталей.

Неподвижные, разбираемые соединения выполняют с помощью переходных посадок и шпонкой, винтовых соединений, соединений с помощью штифтов, конических соединений, клиновых и других соединений.

## 2.6. УСТАНОВКА МАШИНЫ НА ФУНДАМЕНТЕ

Установка машины на фундаменте сопровождается выверкой ее в горизонтальной и вертикальной плоскости. Это связано с тем, чтобы обеспечить устойчивость конструкции, исключить опрокидывание машины или самопроизвольное перемещение рабочих органов под силой их тяжести. Требуемая точность установки машины в горизонтальной или вертикальной плоскости может быть в пределах от 0,04 до 0,02 мм/м в зависимости от технологического назначения машины.

Для установки машин на фундаменте применяют клиновые опоры (рис. 2.17, а). Эти опоры обеспечивают жесткую связь машины с фундаментом и выверку ее положения в пространстве с заданной точностью. После выверки машину крепят к фундаменту.

В тех случаях, когда внешние вибрации мешают работе станка или машины или когда работа машины сопровождается вибрациями, которые могут передаваться через фундамент, применяют для установки и выверки станка или машины на фундаменте виброгасящие или виброизолирующие опоры с резинометаллическим элементом (рис. 2.17, б). Их используют в качестве активной и пассивной виброизоляции металлорежущих станков и прочего промышленного оборудования.

Конкретные требования к установке, методы выверки и требования к креплению станка или машины на фундаменте приводят в руководстве по эксплуатации.



Рис. 2.17. Опоры для установки станков и машин на фундаменте:  
а – клиновая; б – виброопора

## Глава 3 ПРИВОДЫ МАШИН

### 3.1. ПРИВОД ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ

#### 3.1.1. ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ ПРИВОДА МАШИНЫ ИЛИ МЕХАНИЗМА

Необходимость в выборе электродвигателя для привода машины или механизма может возникнуть в двух случаях.

- замена электродвигателя в случае модернизации машины;
- выбор электродвигателя для вновь создаваемой машины.

К исходным данным проектирования привода машины или механизма относятся кинематическая схема привода, а также эксплуатационные, нагрузочные и энергетические характеристики.

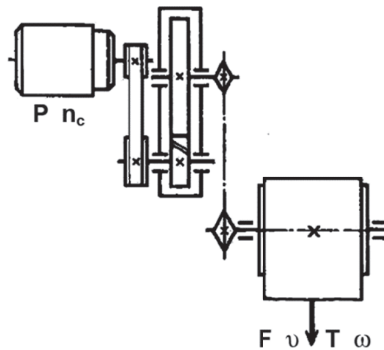


Рис. 3.1. Кинематическая схема привода ленточного конвейера

Выбору электродвигателя предшествует анализ кинематической схемы механизма. Как пример, на рис. 3.1 показана одна из типовых схем привода к ленточному конвейеру. От электродвигателя вращение передается валу барабана через ременную передачу, зубчатый одноступенчатый редуктор и цепную передачу.

Для определения требуемой мощности электродвигателя в техническом задании на привод должны быть указаны вращающий момент  $T_p$  (Н·м) на валу барабана и угловая скорость  $\omega_p$  (рад/с) этого вала или же сила тяги  $F$  (Н) и скорость  $v$  (м/с) ленты.

Искомую мощность  $P$  (Вт) электродвигателя определяют из выражения

$$P = T \omega / \eta = Fv / \eta,$$

где  $Fv$  – Вт,  $v$  – (м/с),  $F$  – Н,  $\eta$  – коэффициент полезного действия (КПД) привода, равный произведению частных КПД передач, входящих в кинематическую схему:

$$\eta = \eta_0 \eta_1 \eta_2 \eta_3 \dots \eta_k$$

Ориентировочные значения основных параметров одноступенчатых механических передач отдельных типов приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Ориентировочные значения основных параметров одноступенчатых механических передач

| Тип передачи              | Передаточное отношение $u$ | КПД       | Передаваемая мощность, кВт | Относительные габаритные размеры | Относительная масса |
|---------------------------|----------------------------|-----------|----------------------------|----------------------------------|---------------------|
| <i>Зубчатые закрытые:</i> |                            |           |                            |                                  |                     |
| цилиндрические            | 3÷10                       | 0,98      | По потребности             | 1                                | 1                   |
| конические                | 2÷6                        | 0,95      | 4000                       | 2                                | 1,2÷1               |
| планетарные $A_{ah}^b$    | 3÷12                       | 0,96÷0,98 | 5000                       | 0,7÷1                            | 0,93÷0,73           |
| планетарные $B_{ah}^b$    | 8÷25                       | 0,95÷0,97 | 5000                       | 0,8÷1,1                          | 0,95÷0,8            |
| волновые $u_{hg}^b$       | 80÷250                     | 0,7÷0,9   | 150                        | 0,5÷0,6                          | 0,05÷0,15           |
| червячные $z=1$           | 10÷80                      | 0,7÷0,8   | 60                         | 1÷1,6                            | 1,04                |
| червячные $z=4$           | 10÷80                      | 0,85÷0,95 | 60                         | 1÷1,6                            | 1,04                |
| Цепные закрытые           | 2÷10                       | 0,95÷0,97 | 120                        | 1÷1,6                            | 0,25                |
| Ременные (трением)        | 2÷8                        | 0,94÷0,96 | 50                         | 5÷4                              | 0,4÷0,5             |
| Зубчато-ременные          | 3÷12                       | 0,96÷0,98 | 100                        | 2,5÷3                            | 0,3                 |
| Фрикционные               | До 7                       | 0,85÷0,95 | 20                         | 1,5÷2                            | 1,5                 |

**Примечания:**  
1. Относительные габаритные размеры и масса определены по отношению к одноступенчатой зубчатой передаче.  
2. А- одновенцовые сателлиты; В- двухвенцовые сателлиты; а – центральное колесо, h – водило, b – наружное неподвижное колесо; г – гибкое колесо.  
3. Потери на трение в опорах каждого вала учитываются множителем  $\eta_0 = 0,99-0,995$ .

При расчете привода часто используют зависимости:

$$\omega = \pi n / 30, \text{ где } \omega \text{ – угловая скорость (рад/с), } n \text{ – мин}^{-1};$$

$$T = 9,55P/n \text{ – вращающий момент (Н·м); или } T = P / \omega.$$

Связь между моментами на ведущем  $T_1$  и ведомом  $T_2$  валах передачи через  $u$  и  $\eta$

$$T_2 = T_1 u \eta.$$

Мощность электродвигателя  $P_0$ , подбираемого для проектируемого привода, должна быть не ниже той, которая определена для искомой мощности  $P$ .

$$P_0 \geq P.$$

Из существующих типов двигателей выбирают преимущественно асинхронные электродвигатели трехфазного тока единой серии 4А (табл. 3.2).

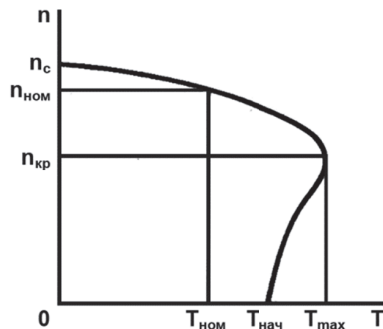


Рис. 3.2. Характеристика асинхронного двигателя трехфазного тока

На рис. 3.2 представлена характеристика асинхронного двигателя трехфазного тока, выражающая зависимость частоты вращения  $n$  ( $\text{мин}^{-1}$ ) вала двигателя от величины вращающего момента  $T$  (Н·м), где  $T = 9,55P/n$ . По оси абсцисс отложены значения  $T_{ном}$  – номинального вращающего момента,  $T_{пуск} = T_{нач}$  – пускового или начального вращающего момента, развиваемого при пуске двигателя,  $T_{max}$  – максимального кратковременного момента; по оси ординат отложены значения частот вращения: номинальной  $n_{ном}$ , критической  $n_{кр}$  и синхронной  $n_c$ , развиваемой при отсутствии нагрузки и равной частоте вращения магнитного поля; она зависит от частоты тока  $f$  и числа пар полюсов  $p$ :

$$n_c = 60f/p$$

соответствующая ей угловая скорость, рад/с,

$$\omega_c = 2\pi f/p.$$

При стандартной частоте тока  $f = 50 \text{ с}^{-1}$  и числе пар полюсов  $p = 1 \div 6$  синхронная частота вращения  $n_c$  будет равна соответственно  $n_c = 60f/p = 3000; 1500; 1000; 750; 600$  и  $500 \text{ мин}^{-1}$ . При выборе двигателя рекомендуется учитывать, что уменьшение частоты вращения электродвигателя связано с увеличением числа пар полюсов, а следовательно и габаритов двигателя. Применять электродвигатель с числом пар полюсов более трех не рекомендуется (для  $n > 1000 \text{ мин}^{-1}$ ).

При возрастании нагрузки частота вращения вала двигателя уменьшается вследствие скольжения  $s$ , определяемого по формуле

$$s = \frac{n_c - n}{n_c} \text{ откуда}$$

$$n = n_c (1 - s).$$

В пусковом режиме при изменении момента от  $T_{пуск}$  до  $T_{max}$  частота вращения возрастает до  $n_{кр}$ . (Рис. 3.2.) Работа при этом моменте не допустима потому, что двигатель будет работать в условиях перегрузки. При дальнейшем возрастании частоты вращения и снижении нагрузки от  $T_{max}$  до  $T_{ном}$  двигатель переходит к установившемуся режиму. При дальнейшем снижении нагрузки двигатель достигает синхронной частоты вращения  $n_c$ . При пуске двигателя  $T = T_{пуск}$  (или  $T_{нач}$ ),  $s = 1$  и  $n = 0$ ; при номинальном режиме  $T = T_{ном}$ ,  $s = 0,02 \dots 0,05$ ;  $n_{ном} \approx (0,98 \dots 0,95)n_c$ ; при отсутствии нагрузки  $T = 0$   $s = 0$ ;  $n = n_c$ .

В электромеханическом приводе применяют асинхронные электродвигатели в закрытом обдуваемом исполнении, технические данные которых приводятся в каталогах и справочниках.

Например, электродвигатели единой серии 4А относятся к основным типам современных электродвигателей переменного тока и обладают ниже приведенными свойствами (табл. 3.2 и 3.3).

Электродвигатели трехфазного тока единой серии 4А, мощностью от 0,06 до 400 кВт с высотой оси вращения от 50 до 355 мм, предназначены для привода механизмов, не предъявляющих особых требований к пусковым характеристикам, скольжению и т. д.

Электродвигатели предназначены для работы в помещениях, защищенных от пыли, влаги и агрессивной среды при температуре окружающего воздуха от  $-40$  до  $+40$  °С. По степени защиты их изготавливают закрытыми, обдуваемыми (IP44) и защищенными (IP23).

Электродвигатели со степенью защиты IP44 выпускаются в трех исполнениях: на лапах – M100 (основное исполнение), с лапами и фланцевым щитом – M200 и лишь с фланцевым щитом – M300. Двигатели со степенью защиты IP23 выпускаются только в основном исполнении – на лапах.

Электродвигатели выпускают с синхронными частотами вращения: 3000, 1500, 1000 и 750  $\text{мин}^{-1}$  от трехфазного тока частотой 50 и 60 Гц.

Пример условного обозначения электродвигателя: 4АНХ315МВ4У3, где 4 – номер серии; А – асинхронный; Н – защищенный (способ защиты от окружающей среды), при отсутствии этой буквы – закрытый обдуваемый; Х – сочетание чугуна и алюминия в качестве материалов станины и щитов (А – станина и щиты алюминиевые), при отсутствии буквы Х и А – станина и щиты чугунные или стальные; 315 – высота оси вала (мм); М – установочный размер по длине станины (то же S или L); В – длина сердечника статора (или А) при условии сохранения установочного размера, отсутствие буквы А и В означает наличие только одной длины сердечника; 4 – число полюсов; У3 – климатическое исполнение и категория размещения.

Таблица 3.2

Технические данные асинхронных электродвигателей серии 4А  
закрытого обдуваемого исполнения по ГОСТ 19523-81(выборка)

| Р,<br>кВт | d вала,<br>мм | Синхронная частота вращения, мин <sup>-1</sup> |     |                                |                  |     |                                |                  |     |                                |                  |     |                                |
|-----------|---------------|--|-----|--------------------------------|------------------|-----|--------------------------------|------------------|-----|--------------------------------|------------------|-----|--------------------------------|
|           |               | 3000   |     |                                | 1500             |     |                                | 1000             |     |                                | 750              |     |                                |
|           |               | тип<br>двигателя                               | S,% | T <sub>м</sub> /T <sub>н</sub> | тип<br>двигателя | S,% | T <sub>м</sub> /T <sub>н</sub> | тип<br>двигателя | S,% | T <sub>м</sub> /T <sub>н</sub> | тип<br>двигателя | S,% | T <sub>м</sub> /T <sub>н</sub> |
| 0,75      | 19            | 71A2   | 5,9 | 2,2                            | 71B4             | 7,5 | 2,2                            | 80A6             | 8,4 | 2,2                            | 90LA8            | 8,4 | 1,9                            |
| 1,1       | 19            | 71B2   | 6,3 | 2,2                            | 80A4             | 5,4 | 2,2                            | 80B6             | 8,0 | 2,2                            | 90LB8            | 7,0 | 1,9                            |
| 1,5       | 22            | 80A2   | 4,2 | 2,6                            | 80B4             | 5,8 | 2,2                            | 90L6             | 6,4 | 2,2                            | 100L8            | 7,0 | 1,9                            |
| 2,2       | 22            | 80B2   | 4,3 | 2,6                            | 90L4             | 5,1 | 2,4                            | 100L6            | 5,1 | 2,2                            | 112MA8           | 6,0 | 2,2                            |
| 3,0       | 24            | 90L2   | 4,3 | 2,5                            | 100S4            | 4,4 | 2,4                            | 112MA6           | 4,7 | 2,5                            | 112M8            | 5,8 | 2,2                            |
| 4,0       | 28            | 100S2  | 3,3 | 2,5                            | 100L4            | 4,7 | 2,4                            | 112MB6           | 5,1 | 2,5                            | 132S8            | 4,1 | 2,6                            |
| 5,5       | 28            | 100L2  | 3,4 | 2,5                            | 112M4            | 3,7 | 2,2                            | 132S6            | 3,3 | 2,5                            | 132M8            | 4,1 | 2,6                            |
| 7,5       | 32            | 112M2  | 2,5 | 2,8                            | 132S4            | 3,0 | 3,0                            | 132M6            | 3,2 | 2,5                            | 160S8            | 2,5 | 2,2                            |
| 11,0      | 38            | 132M2  | 2,3 | 2,8                            | 132M4            | 2,8 | 3,0                            | 160S6            | 2,7 | 2,0                            | 160M8            | 2,5 | 2,2                            |
| 15        | 42            | 160S2  | 2,1 | 2,2                            | 160S4            | 2,3 | 2,3                            | 160M6            | 2,6 | 2,0                            | 180M8            | 2,5 | 2,0                            |
| 18,5      | 42            | 160M2  | 2,1 | 2,2                            | 160M4            | 2,2 | 2,3                            | 180M6            | 2,7 | 2,0                            | 200M8            | 2,3 | 2,2                            |
| 22        | 48            | 180S2  | 2,0 | 2,5                            | 180S4            | 2,0 | 2,3                            | 200M6            | 2,8 | 2,4                            | 200L8            | 2,7 | 2,0                            |
| 30        | 48            | 180M2  | 1,9 | 2,5                            | 180M4            | 1,4 | 2,3                            | 200L6            | 2,1 | 2,4                            | 225M8            | 1,8 | 2,1                            |

Примечание. В графе s указано скольжение в %; в графе T<sub>м</sub>/T<sub>н</sub> даны значения отношения величин максимального и номинального вращающих моментов; значения отношения величин пускового и номинального вращающих моментов для всех типов – T<sub>пуск</sub>/T<sub>н</sub> ≈ 2. Номинальная частота вращения вала двигателя n<sub>ном</sub> = n<sub>c</sub> (1 - s). Принятые обозначения: T<sub>н</sub> = T<sub>де.мах</sub>; T<sub>м</sub> = T<sub>де.ном</sub>; T<sub>пуск</sub> = T<sub>де.пуск</sub>

В каталоге также приводят  $\lambda_{\text{чп}} = T_{\text{дв.мах}} / T_{\text{дв.ном}}$  – допустимое значение кратности максимального момента  $T_{\text{дв.мах}}$  двигателя по отношению к его номинальному моменту  $T_{\text{дв.ном}}$ .

Для подбора двигателей, работающих в кратковременном режиме, указана мощность  $P_{\text{дв30}}$  и  $P_{\text{дв60}}$  при стандартной продолжительности времени работы 30 и 60 мин.

Для подбора двигателей, работающих в повторно-кратковременном режиме, указана мощность  $P_{\text{дв-пв}}$  при стандартной продолжительности включения (см. ниже) из ряда значений ПВ<sub>ст</sub> = 15, 25, 40, 60%.

Примечание. Следует иметь в виду, что в действующих каталогах электродвигателей сохраняется система единиц МКГСС, поэтому требуется согласование параметров двигателя с данными в СИ.

Приведенные в табл. 3.2 асинхронные двигатели имеют «жесткую» механическую характеристику с тем, что значительное изменение нагрузки вызывает несущественное изменение частоты вращения ротора. Практически принимают, что в рабочем диапазоне нагрузок (исключая период пуска) частота вращения ротора  $n_{\text{дв}} = \text{const}$ , тогда частота вращения двигателя связана с частотой вращения рабочего органа ( $n_0$ ):

$$n_{\text{дв}} = n_{\text{ро}} u_{\text{мп}},$$

где  $u_{\text{мп}}$  – передаточное число механической передачи.

Выбор двигателя из каталога производят по номинальной мощности с учетом режима работы привода.

$P_{\text{дв.ном}} \geq P_{\text{дв.расч}}$  (где  $P_{\text{дв.расч}}$  – расчетная мощность двигателя, определяемая с учетом режима работы привода) и частоте вращения.

Предусмотрены возможные три основных режима работы двигателя на перегрузку и проверка режима работы.

*Длительный режим работы* характеризуется продолжительностью работы, достаточной для того, чтобы температура нагрева двигателя достигла установившегося значения.

При необходимости заданный внешний переменный момент заменяют эквивалентным постоянным среднеквадратичным моментом  $T_E$ .

При постоянной нагрузке  $T_E = T_{\text{дв.расч}}$ .

Расчетное значение мощности двигателя (Вт) при условии постоянства частоты вращения ротора равно

$$P_{\text{дв.расч}} = T_E \omega_{\text{ро}} / \eta_{\text{мп}},$$

где  $\omega_{\text{ро}}$  – угловая скорость вала рабочего органа, рад/с;  $\eta_{\text{мп}}$  – КПД механической передачи; изменением КПД при переменной нагрузке пренебрегают и полагают

$$\eta_{\text{мп}} = \text{const}.$$

По каталогу подбирают двигатель с номинальной мощностью  $P_{\text{дв.ном}} \geq P_{\text{дв.расч}}$ , полагая, что при удовлетворении этого неравенства нагрев не будет вызывать преждевременного выхода двигателя из строя.

*Кратковременный режим работы* характеризуется общей продолжительностью работы под нагрузкой  $10 \text{ мин} \leq t_r \leq 60 \text{ мин}$ , при которой не происходит нагрев двигателя до установившейся температуры. При этом продолжительность остановок между отдельными циклами нагружения достаточна для выравнивания температуры двигателя и окружающего воздуха.

Заданный внешний переменный момент заменяют эквивалентным постоянным среднеквадратичным моментом  $T_E$ , рассчитываемым по формуле

$$T_E = \sqrt{\frac{T_1^2 t_1 + T_2^2 t_2 + \dots + T_n^2 t_n}{t_{\text{ц}}}}$$

где  $T_n$  и  $t_n$  – степень нагрузки и соответствующее ей время работы,  $t_{\text{ц}}$  – время цикла.

Расчетное значение мощности двигателя (Вт) при условии постоянства частоты вращения ротора равно

$$P_{\text{дв.расч}} = T_E \omega_{\text{ро}} / \eta_{\text{мп}},$$

где  $\omega_{\text{ро}}$  – угловая скорость вала рабочего органа, рад/с;  $\eta_{\text{мп}}$  – КПД механической передачи.

*Повторно-кратковременный режим работы* отличается частыми пусками и остановками, при которых за время работы двигателя  $t_r$  его температура не успевает достигнуть установившегося значения, а за время остановки  $t_{r=0}$  – не успевает опуститься до температуры окружающего воздуха.

Продолжительность одного периода

$$t_r + t_{r=0} = 0 \leq 10 \text{ мин} = 100\%.$$

Продолжительность включения двигателя (%) характеризуется фактической величиной

$$ПВ_{\phi} = \frac{t_r}{t_r + t_{r=0}} \cdot 100\%.$$

Для выбора двигателя необходимо выбрать ближайшую к  $ПВ_{\phi}$  стандартную продолжительность включения из ряда значений  $ПВ_{СТ}$ , указанных в каталоге. Расчетная мощность двигателя (Вт) при постоянной частоте вращения ротора равна

$$P_{дв.расч} = \frac{T_E \omega_{po}}{\eta_{мн}} \sqrt{\frac{ПВ_{\phi}}{ПВ_{СТ}}}.$$

По каталогу подбирают двигатель с номинальной мощностью  $P_{дв.ПВ} \geq P_{дв.расч.ПВ}$ , исключающей его перегрев.

*Проверка двигателя на перегрузку* преследует цель предотвратить его остановку под нагрузкой, называют «опрокидывание», при резком увеличении внешней нагрузки. Проверку двигателя производят для возможных неблагоприятных условий эксплуатации, когда напряжение в электрической сети понижено до 10% (что соответствует уменьшению движущего момента на 19%), а нагрузка достигает максимального значения

$$T_{дв.ном} \geq \frac{T_{max}}{0,81 \lambda_m u_{мн} \eta_{мн}},$$

где  $\lambda_m = T_{дв.мах} / T_{дв.ном}$  для выбранного электродвигателя;  $T_{max}$  – максимальный момент от рабочего органа.

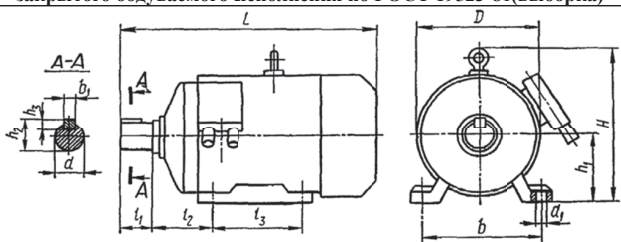
Если условие не удовлетворено, то требуемая расчетная мощность (Вт), по которой следует выбрать двигатель, должна быть равна

$$P_{дв.расч} = \frac{T_{max} \omega_{po}}{0,81 \lambda_m \eta_{мн}}.$$

В этом случае двигатель имеет запас по температуре нагрева.

Таблица 3.3

Основные габаритные, установочные и присоединительные размеры асинхронных электродвигателей серии 4А закрытого обдуваемого исполнения по ГОСТ 19523-81(выборка)

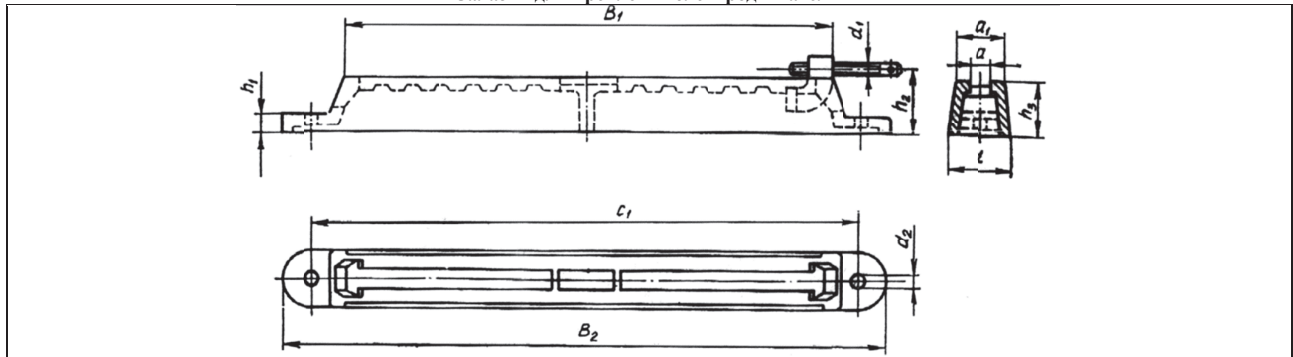


| Тип двигателя | $d$ | $L$ | $H$ | $D$ | $l_1$ | $l_2$ | $l_3$ | $d_1$ | $b$ | $h_1$ | $h_2$ | $h_3$ | Масса |
|---------------|-----|-----|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-----|-------|-------|-------|-------|
| 71            | 19  | 285 | 201 | 170 | 40    | 45    | 90    | 7     | 112 | 71    | 21,5  | 6     | 15,1  |
| 80А           | 22  | 300 | 218 | 186 | 50    | 50    | 100   | 10    | 125 | 80    | 24,5  | 6     | 17,5  |
| 80В           | 22  | 320 | 218 | 186 | 50    | 50    | 100   | 10    | 125 | 80    | 24,5  | 6     | 20,0  |
| 90L           | 24  | 350 | 243 | 208 | 50    | 56    | 125   | 10    | 140 | 90    | 27,0  | 7     | 28,7  |
| 100S          | 28  | 365 | 265 | 235 | 60    | 63    | 112   | 12    | 160 | 100   | 31,0  | 7     | 36    |
| 100L          | 28  | 395 | 280 | 235 | 60    | 63    | 140   | 12    | 160 | 100   | 31,0  | 7     | 42    |
| 112M          | 32  | 452 | 310 | 260 | 80    | 70    | 140   | 12    | 190 | 112   | 35,0  | 8     | 56    |
| 132S          | 38  | 480 | 350 | 302 | 80    | 89    | 140   | 12    | 216 | 132   | 41,0  | 8     | 71    |
| 132M          | 38  | 580 | 350 | 302 | 80    | 89    | 178   | 12    | 216 | 132   | 41,0  | 8     | 93    |
| 160S          | 42  | 624 | 430 | 358 | 110   | 108   | 178   | 15    | 254 | 160   | 45    | 8     | 130   |
| 160M          | 42  | 667 | 430 | 358 | 110   | 108   | 210   | 15    | 254 | 160   | 45    | 8     | 145   |
| 180S          | 48  | 662 | 470 | 410 | 110   | 121   | 203   | 15    | 279 | 180   | 51,5  | 9     | 165   |
| 180M          | 48  | 702 | 470 | 410 | 110   | 121   | 241   | 15    | 279 | 180   | 51,5  | 9     | 185   |
| 200M          | 55  | 760 | 535 | 450 | 110   | 133   | 267   | 19    | 318 | 200   | 59    | 10    | 255   |
| 200L          | 55  | 800 | 535 | 450 | 110   | 133   | 305   | 19    | 318 | 200   | 59    | 10    | 280   |
| 225M          | 55  | 810 | 575 | 494 | 110   | 149   | 311   | 19    | 356 | 225   | 59    | 10    | 355   |

Для установки и регулировки положения электродвигателя применяют салазки, которые крепят к плиткам плиты (табл. 3.4).

Таблица 3.4

Салазки для крепления электродвигателя



| $a$ | $a_1$ | $B_1$ | $B_2$ | $C_1$ | $d_1$ | $d_2$ | $h_1$ | $h_2$ | $h_3$ | $l$ | Масса, кг | Болты  |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-----------|--------|
| 16  | 38    | 370   | 440   | 410   | M12   | 12    | 15    | 44    | 36    | 42  | 3,8       | M10X35 |
| 18  | 45    | 430   | 510   | 470   | M12   | 14    | 18    | 55    | 45    | 50  | 5,3       | M12X40 |
| 25  | 65    | 570   | 670   | 620   | M16   | 18    | 22    | 67    | 55    | 72  | 12,5      | M16X55 |
| 25  | 65    | 630   | 770   | 720   | M16   | 18    | 26    | 74    | 60    | 75  | 17,5      | M16X60 |
| 30  | 90    | 770   | 930   | 870   | M20   | 24    | 30    | 88    | 70    | 105 | 31        | M20X75 |

### 3.1.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕДАТОЧНОГО ОТНОШЕНИЯ ВСЕГО ПРИВОДА

Исходными данными для проектирования привода указывают частоту вращения  $n_p$  ( $\text{мин}^{-1}$ ) рабочего приводного вала или другие данные рабочего органа машины (например, диаметр  $D$  (м) барабана конвейера и скорость  $v$  (м/с) ленты) и по этим данным находят

$$n_p = 60v/\pi D.$$

Затем определяют общее передаточное отношение:  $u = n_{\text{ном}} / n_p$ , где  $n_{\text{ном}}$  – значение номинальной частоты вращения двигателя и намечают ориентировочно значения частных передаточных отношений передач, входящих в привод, так, чтобы произведение их было равно общему передаточному отношению:

$$u = u_1 \cdot u_2 \cdot \dots \cdot u_k.$$

Рекомендуемые средние значения  $u_k$  для зубчатых передач, для червячных передач, цепных, ременных и др. для предварительной разбивки общего передаточного отношения приведены в табл. 3.1.

**Пример.** Провести кинематический расчет привода, показанного на рис. 3.1. Исходные данные: диаметр барабана  $D = 500$  мм; тяговая сила  $F = 4 \cdot 10^3$  Н; скорость ленты  $v = 0,8$  м/с.

Требуется подобрать асинхронный электродвигатель трехфазного тока, определить передаточное отношение всего привода и частные передаточные отношения каждой передачи.

**Вычисление.** Принимаем значения КПД по табл. 3.1:

ременной передачи  $\eta_1 = 0,98$ ; зубчатой пары  $\eta_2 = 0,98$ ; цепной передачи  $\eta_3 = 0,96$ ;

коэффициент, учитывающий потери на трение в опорах трех валов  $\eta_0^3 = 0,99^3$ .

КПД всего привода  $\eta = \eta_1 \eta_2 \eta_3 \eta_0^3 = 0,98 \cdot 0,98 \cdot 0,96 \cdot 0,99^3 = 0,89$ .

Требуемая мощность электродвигателя по формуле

$$P = Fv/\eta = 4 \cdot 10^3 \cdot 0,8 / 0,89 = 3,6 \cdot 10^3 \text{ Вт}.$$

Частота вращения вала барабана

$$n_p = 60v/\pi D = 60 \cdot 0,8 / 3,14 \cdot 0,5 = 30,5 \text{ мин}^{-1}.$$

По данным табл. 1.3, подходят электродвигатели трех марок: 4A100S2  $P = 4$  кВт,  $n_c = 3000$   $\text{мин}^{-1}$ ,  $s = 3,3\%$ ; 4A100L4,  $P = 4$  кВт,  $n_c = 1500$   $\text{мин}^{-1}$ ,  $s = 4,7\%$ ; 4A112MB6,  $P = 4$  кВт,  $n_c = 1000$   $\text{мин}^{-1}$ ,  $s = 5,1\%$ .

При выборе первого из указанных двигателей с  $n_c = 3000$   $\text{мин}^{-1}$  возникнут затруднения в реализации большого передаточного числа порядка 100; предпочтительнее двигатели с  $n_c = 1500$  и  $1000$   $\text{мин}^{-1}$ . Номинальные частоты вращения валов этих двигателей будут соответственно:

$$a) n_{\text{ном}} = n_c (1 - s) = 1500 (1 - 0,047) = 1430 \text{ мин}^{-1};$$

$$б) n_{\text{ном}} = 1000 (1 - 0,051) = 949 \text{ мин}^{-1}.$$

Передаточное отношение привода в случае варианта «а»

$$u = n_{\text{ном}}/n_p = 1430 / 30,5 \approx 47;$$

для варианта «б»

$$u = 949 / 30,5 \approx 31,1.$$

Разбивка общего передаточного отношения привода допускает много решений.

Например, для варианта «а» можно принять

$$u_1 = 2,5; u_2 = 5; u_3 = 3,8; u = 2,5 \cdot 5 \cdot 3,8 = 47,5;$$

для варианта «б»

$$u_1 = 2; u_2 = 4; u_3 = 3,9; u = 2 \cdot 4 \cdot 3,9 = 31,2.$$

Намеченные передаточные отношения в дальнейшем уточняют при проектной проработке, при этом отклонение от расчетного передаточного отношения привода не должно превышать  $+ 3\%$ .



### 3.2. ПРИВОД ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ

Гидравлический привод (или, сокращенно, гидропривод) широко применяется в производственных машинах, механизмах, в том числе в металлорежущих станках. Если в электроприводе электроэнергия поступает от внешнего источника и электродвигателем преобразуется в механическую энергию движения, то в гидроприводе источник энергии – движение жидкости под давлением создается преобразованием других видов энергии – в основном электричества.

Применение гидропривода совместно с механическими передачами или отдельно позволяет плавно и в широком диапазоне изменять частоту и направление вращения выходного вала, преобразовывать вращательное движение в поступательное, изменять направление передачи движения вращения и др., при сохранении или изменении вращающих моментов.

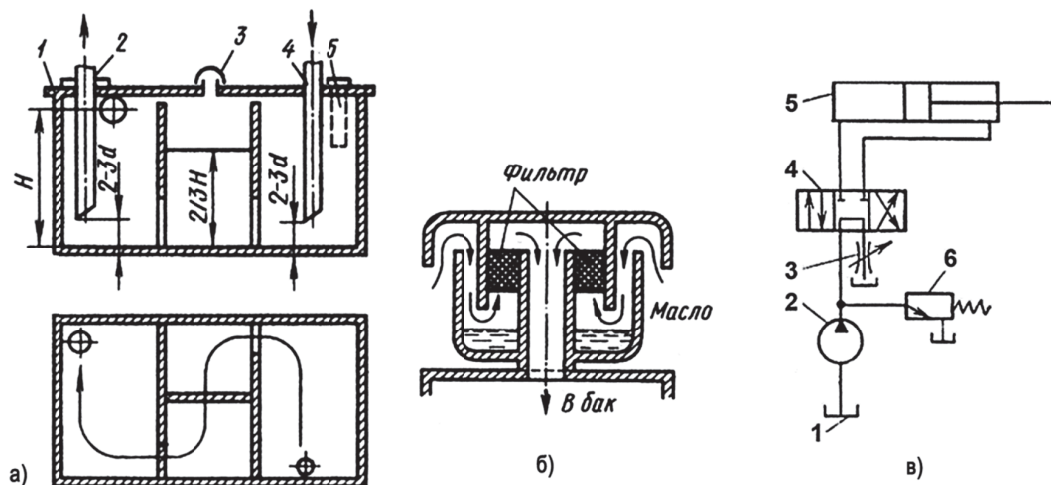


Рис. 3.3. Схема гидропривода и гидробака:

а – схема устройства гидробака, б – сапун, в – гидропривод

Гидравлический привод состоит (рис. 3.3 в) из бака 1 с рабочей жидкостью, гидронасоса 2, контрольно-регулирующей и распределительной гидроаппаратуры (дресселя 3, гидрораспределителя 4 и предохранительного клапана 6 и исполнительного устройства (гидродвигатель, гидроцилиндр и др.) 5, которым приводится в действие рабочий орган производственной машины, и трубопровода, который объединяет все перечисленные устройства для подачи рабочей жидкости под давлением.

*Гидробак* – герметичная емкость сварной конструкции, предназначенная для питания гидросистемы маслом. Гидробак может быть расположен вне станка или машины, а также он может быть выполнен в нише корпуса основания (станции).

Масло в гидробак заливают через фильтр 5, защищающий бак от попадания грязи при заливке масла.

Между сливным 4 и всасывающим 2 патрубками обычно располагаются перегородки, которые исключают прямой ток масла между патрубками 4 и 2, что позволяет осесть тяжелым частицам по пути к всасывающему патрубку 2. Обычно дно в гидробаке выполняется наклонным в сторону сливного патрубка, где располагается сливное отверстие. В низкой части дна бака собирается осадок из продуктов износа элементов гидросистемы, загрязнений и других примесей.

На крышке бака установлен сапун 3 (защитное устройство в виде грибка, снабженное фильтром), предназначенный для отвода из бака газообразных примесей, выравнивания давления (внутри и снаружи бака) и защиты от попадания в бак стружки, эмульсии и пыли из цеха (рис. 3.3, б).

Масло в гидробаке должно находиться на определенном уровне  $H$ , контроль которого осуществляется индикаторами. Для улавливания продуктов износа, взаимодействующих стальных деталей гидропривода в стенку бака иногда ввертывают магнитную пробку. Постоянство температуры масла в гидробаке обеспечивается нагревательными и охлаждающими установками.

Обычно гидробак является основанием для установки гидронасоса с электродвигателем, фильтра и защитно-регулирующей аппаратуры. Такую установку называют станцией.

В баке гидросистемы находится рабочая жидкость – минеральное масло марок И-12, И-20, И-30, И-45, ИГП-30, ИГП-18, ИГП-38 и др., которую применяют в гидравлическом приводе машины для передачи давления и скорости движения силовому органу. Масло, поступающее по трубопроводу в гидросистему, должно пройти через фильтры для очистки от механических примесей.

Масло, применяемое в качестве рабочей жидкости, должно быть однородно по химическому составу, иметь высокую температуру вспышки, низкую температуру застывания и не должно содержать водорастворимых кислот и щелочей, т.к. они вызывают коррозию и появление мылообразующих жиров, образующих пену, которая является причиной неравномерного движения силового органа.

В баке гидросистемы установившаяся температура масла во время работы не должна превышать 55 °С, если в технических условиях или заменяющих их технических документах на конкретный станок или машину не предусматривают другое значение. Температура масла в гидробаке должна быть не более 70 °С, если выделяемое гидросистемой тепло не оказывает существенного влияния на точность работы исполнительного механизма.

*Гидронасос* - устройство, всасывающее рабочую жидкость из гидробака и нагнетающее ее по трубопроводу в гидросистему. Гидронасос в производственных машинах приводится в действие электродвигателем.

По принципу действия, т.е. по способу передачи механической энергии жидкости, насосы подразделяются на объемные (поршневые, пластинчатые, шестеренчатые, винтовые) и центробежные. Основными величинами, характеризующими работу насоса, являются производительность, давление, потребляемая мощность, коэффициент полезного действия и высота всасывания.

Производительностью насоса называется объемное количество жидкости, подаваемое насосом в единицу времени. Оно обозначается  $Q$  (м<sup>3</sup>/с, м<sup>3</sup>/ч, л/с).

Энергия жидкости в гидросистеме характеризуется давлением. За единицу давления принимается давление, получаемое при действии силы в 10Н/см<sup>2</sup>. Эта единица давления, равная 1 кгс/см<sup>2</sup>, называется технической атмосферой и обозначается *ата*. В СИ килограмм-сила на квадратный сантиметр будет равна 0,1 МПа.

Полезная мощность всегда меньше потребляемой за счет потерь, возникающих в насосе. Значения КПД повышаются с увеличением габаритных размеров насосов. Для поршневых насосов КПД составляет 0,60 – 0,92, для осевых – 0,7 – 0,85.

В гидроприводах машин применяются главным образом насосы объемного действия. Приводная (потребляемая) мощность насоса (кВт)

$$N = pQ(60 \cdot \eta_{эф}),$$

где  $p$  – давление, развиваемое насосом, МПа;  $Q$  – производительность насоса или расход жидкости, л/мин;  $\eta_{эф}$  – общий (эффективный) КПД.

$\eta_{эф} = \eta_0 \eta_m$ ;  $\eta_m$  – механический КПД насоса, учитывающий потери на трение и гидравлические сопротивления;  $\eta_0$  – объемный КПД, учитывающий утечку рабочей жидкости через зазор,  $\eta_0 = Q/Q_t$ , где  $Q_t$  – теоретическая производительность.

Мощность, отдаваемая насосом (эффективная мощность),

$$N_{эф} = pQ/60.$$

В зависимости от конструкции различают насосы для гидроприводов: шестеренные, пластинчатые и поршневые (плунжерные). Реже для гидроприводов применяют винтовые насосы.

Сравнительные характеристики гидронасосов приведенных ниже типов даны в табл. 3.5.

Таблица 3.5

Сравнительные характеристики гидронасосов

| Тип                      | $p_{max}$ , МПа | $Q$ , л/мин | $\eta_0$  | $\eta_{эф}$ | Удельная масса, кг/кВт |
|--------------------------|-----------------|-------------|-----------|-------------|------------------------|
| Шестеренный              | До 12,0–14,0    | 5–125       | 0,7–0,9   | 0,25–0,7    | 0,6–0,7                |
| Пластинчатый             | До 12,0–14,0    | 3–200       | 0,6–0,9   | 0,55–0,75   | 1,25–4                 |
| Радиально-поршневой      | До 20,0–30,0    | 50–400      | 0,7–0,9   | 0,67–0,85   | 10–19,5                |
| Аксиально-поршневой      | До 20,0–30,0    | 9–775       | 0,95–0,98 | 0,8–0,9     | 7–3,3                  |
| Эксцентриковый поршневой | До 50,0         | 3–35        | 0,75–0,9  | 0,68–0,76   | 2,7–8                  |

**Поршневые насосы** применяются в гидроприводах промышленного оборудования в тех случаях, когда необходимо получить высокое рабочее давление масла. Поршневые насосы делятся на аксиально- и радиально-поршневые, а также эксцентриковые. Аксиально- и радиально-поршневые насосы применяются для давления масла до 20–30 МПа, а поршневые эксцентриковые – до 50 МПа и выше.

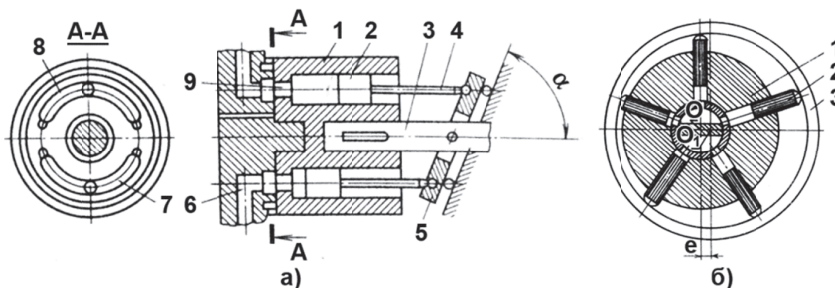


Рис. 3.4. Поршневые насосы:  
а – аксиальный; б – радиальный

Наибольшее распространение нашли аксиально-поршневые насосы (рис. 3.4, а).

В расточках ротора 1 перемещаются поршни 2, которые через шатуны 4 связаны с шайбой 5, наклоненной к валу 3 под углом  $\alpha$ , который может изменяться. Вал 3 связан с шайбой 5 шарнирно, а с ротором 1 – шлицами.

При вращении ротора 1 вместе с шайбой 5 наклон шайбы сохраняется, и поэтому поршни совершают возвратно-поступательное движение. При этом под одним поршнем образуется разрежение, и масло по каналам 8 и 9 всасывается из бака в цилиндр, а другой поршень сжимает масло, которое по каналам 6 и 7 нагнетается из цилиндра в напорную магистраль. Объем поступающего в напорную магистраль масла можно регулировать изменением угла  $\alpha$  наклона шайбы 5. При  $\alpha=90^\circ$  подача масла в напорную магистраль прекращается.

Поршневой насос с радиальными поршнями (рис. 3.4, б) работает следующим образом. Ротор 1 вращается вокруг своей оси вместе с поршнями 2. Под действием центробежной силы поршни прижимаются к обойме 3. Обойма вращается на подшипниках, помещенных в скользящем блоке, который может перемещаться, изменяя эксцентриситет  $e$  относительно неподвижной распределительной оси. В результате каждый поршень за один оборот ротора делает один двойной ход. При выдвигании поршня в цилиндре образуется разрежение и масло из верхней полости оси всасывается из бака в цилиндр и при дальнейшем вращении ротора нагнетается в нижнюю полость. Изменением эксцентриситета обоймы можно изменять длину хода поршней, а следовательно, регулировать производительность насоса. При эксцентриситете обоймы, равном нулю, ход поршней также равен нулю и подача масла насосом не производится.

**Шестеренчатые насосы.** Эти насосы бывают низкого, среднего и высокого давления (табл. 3.6).

Шестеренчатые и пластинчатые насосы отечественного производства применяются для давлений масла до 12,0 – 15,0 МПа. Эти насосы компактны, неприхотливы в эксплуатации, однако чувствительны к перегреву, а при работе на предельных давлениях (10 МПа и выше) недолговечны (например, у насосов этого типа срок службы в данных условиях ограничивается 800 ч).

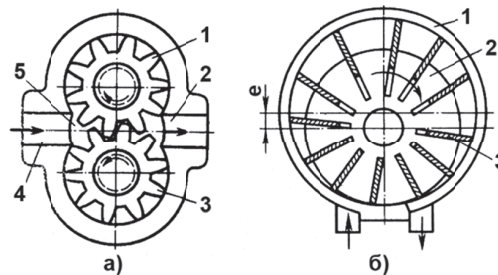


Рис. 3.5. Насосы:  
а – шестеренчатый; б – пластинчатый

Шестеренчатые насосы низкого давления применяют в системах смазки и охлаждения станков. Насосы среднего давления применяют в гидравлических системах шлифовальных, фрезерных и других станков. Насосы высокого давления применяют в гидравлических системах сверлильно-расточных, протяжных, токарных и фрезерных станков.

Шестеренный насос внешнего зацепления (рис. 3.5, а) состоит из двух зубчатых колес, которые находятся в зацеплении и установлены с минимальным зазором между вершинами зубьев колес и цилиндрическими расточками в корпусе. От ведущего зубчатого колеса 1 приводится во вращение ведомое зубчатое колесо 2.

Масло, попадая в полости между зубьями и корпусом, переносится из зоны 5 в зону 2. В зоне 5 образуется разрежение, и масло по каналу 4 всасывается в нее. В зоне 2 зубья колес входят в зацепление и вытесняют масло из впадин между зубьями, в результате чего масло нагнетается в магистраль, соединенную с полостью 2.

Насосы, у которых зубчатые колеса имеют 5–10 зубьев, применяют для охлаждения систем. В гидроприводах используют насосы с зубчатыми колесами с 10–20 зубьями.

Таблица 3.6

Технические характеристики шестеренчатых насосов

| Параметры                                   | Модель 1 | Модель 2  | Модель 3  |
|---|----------|-----------|-----------|
| Рабочий объем, см <sup>3</sup> /об          | 10       | 31,7      | 47,38     |
| Наибольшее давление, МПа                    | 15,0     | 11,0      | 14,0      |
| Рабочее давление, МПа                       | 10,4     | 10,0      | 10,0      |
| Диапазон частот вращения, мин <sup>-1</sup> | 900–3000 | 1100–1650 | 1200–1950 |
| Объемный КПД                                | 0,80     | 0,92      | 0,92      |
| Масса, кг                                   | 2,5      | 6,6       | 9,76      |

**Лопастные – (пластинчатые насосы).** Эти насосы применяют в гидросистемах сверлильно-расточных, токарных, фрезерных, протяжных и других станков.

Пластинчатый насос (рис. 3.5, б) состоит из статора 1 и ротора 2. В радиальных пазах ротора помещены пластины 3. Оси ротора и статора расположены с эксцентриситетом  $e$ .

При вращении ротора пластины в его пазах совершают возвратно-поступательное движение, прижимаясь торцами (под действием центробежных сил и силы давления жидкости) к поверхности статора.

В результате вращения ротора объемы пространства между пластинами изменяются. При увеличении объемов создается разрежение и жидкость, поступая из масляного бака по трубопроводу через отверстия в торцовых крышках, заполняет пространство между пластинами. При уменьшении объемов пространства жидкость вытесняется через отверстия в торцовых крышках в напорную магистраль. Изменяя эксцентриситет  $e$ , можно регулировать поток жидкости при неизменной частоте вращения ротора. При  $e=0$  объемы пространства, заключенные между пластинами 3, не изменяются и подачи жидкости нет.

**Контрольно-регулирующая и распределительная гидроаппаратура** предназначена для управления исполнительным устройством, т.е. для регулирования скорости вращения гидродвигателя, для регулирования скорости перемещения штока гидроцилиндра и величины усилия за счет изменения количества и направления жидкости, протекающей в единицу времени через трубопровод, и давления жидкости в отдельных полостях гидропривода.

**Распределительные устройства** служат для изменения направления потока жидкости в магистрали гидросистемы.

Плунжер – золотник (рис. 3.6, а) управляет потоком масла тем, что соединяет поочередно полости цилиндра с напорной или сливной магистралью.

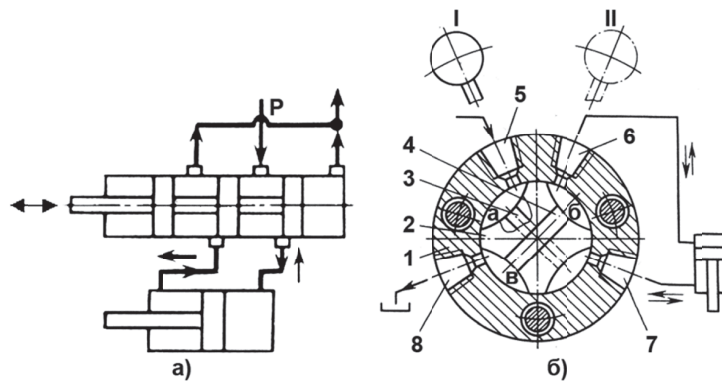


Рис. 3.6. Схема работы распределителей потока:  
а – плунжера; б - поворотного крана

Перемещение плунжера может выполняться вручную, кинематическими устройствами (например, кулачками), электромагнитами, а также гидравлическими или пневматическими устройствами.

Поворотные краны (рис. 3.6, б) также относятся к распределительным устройствам. В положении I рукоятки масло из магистрали через отверстие 5 в корпусе 1, канал 3 в плунжере и отверстие 7 поступает в полость гидроцилиндра, перемещает шток вверх. Из другой полости гидроцилиндра масло через отверстие 6, канал 4 в плунжере 2 и отверстие 8 поступает в сливную магистраль.

**Исполнительные устройства**, называемые гидродвигателями, служат для преобразования энергии масла в гидросистеме в механическую, используемую для перемещения рабочих органов. В металлорежущих станках в качестве гидродвигателей применяются гидроцилиндры, роторные и пластинчатые гидродвигатели и др.

В принципе все рассмотренные гидронасосы являются обратимыми в гидродвигатели, если снять с них электродвигатель и в рабочие полости подать жидкость с определенным давлением и скоростью. В шестеренчатом насосе жидкость вращает зубчатые колеса, в лопастном насосе – ротор с лопастями, а в поршневых насосах поршни приводят во вращательное движение ротор и т.д.

Различают гидромоторы низкомоментные и высокомоментные.

Низкомоментные гидромоторы являются быстроходными двигателями и характеризуются малыми значениями отношения  $k$  крутящего момента  $T$  к частоте вращения  $n$

$$k = T/n = 0,001 \div 1,0 \text{ Н} \cdot \text{м}/\text{мин}^{-1}.$$

Высокомоментные гидромоторы являются тихоходными двигателями и имеют большое значение отношения крутящего момента к частоте вращения, которое может достигать  $k \leq 20\,000$ . Различают гидромоторы шестеренные, лопастные, аксиально-поршневые и радиально-поршневые. Наибольшее распространение получили радиально-поршневые и лопастные гидромоторы.

Сравнительные характеристики гидродвигателей приведены в табл. 3.7.

Таблица 3.7

Сравнительные характеристики гидродвигателей

| Тип                 | Рабочее давление, МПа | Объемный КПД | КПД      | Крутящий момент, кН·м | Масса на единицу мощности, кг/кВт |
|---------------------|-----------------------|--------------|----------|-----------------------|-----------------------------------|
| Шестеренный         | 1000                  | 0,9          | 0,75     | 0,05–0,07             | 0,5–0,7                           |
| Пластинчатый        | 500–1000              | 0,75–0,97    | 0,5–0,91 | 0,02–18,0             | 2–6                               |
| Аксиально-поршневой | 500–1600              | 0,65–0,98    | 0,8      | 0,04–1,17             | 4–7                               |
| Радиально-поршневой | 1000–1600             | 0,91–0,98    | 0,8–0,94 | 0,24–35,7             | 4–34                              |

Потребляемая (подводимая) мощность (кВт) для всех типов гидродвигателей может быть определена по формуле

$$N_n = pQ/60,$$

где  $p$  – давление в системе, МПа;  $Q$  – расход жидкости, л/мин.

Эффективная (отдаваемая) мощность (кВт)

$$N_{эф} = T_n / 9,55 \cdot 10^3.$$

Потребный расход жидкости при работе под нагрузкой

$$Q = 10^{-3} qn/\eta_0,$$

где  $q$  – потребный удельный расход жидкости на один оборот гидродвигателя, см<sup>3</sup>/об;  $\eta_0$  – объемный КПД,  $n$  – частота вращения, мин<sup>-1</sup>

Необходимо учитывать, что при работе вблизи нижнего предела  $n$  значения  $\eta_0$  снижаются.

Крутящий момент  $T_1$  на выходном валу двигателя пропорционален давлению в гидросистеме  $p_1$  и номинальному крутящему моменту  $T_n$

$$T_1 = T_n (p_1/p_n),$$

где  $p_n$  – номинальное давление.



Практически эта пропорциональность нарушается, так как эффективный КПД зависит от нагрузки (особенно при высоких скоростях вращения). С увеличением нагрузки скорость вращения выходного вала уменьшается, что характеризуется коэффициентом  $C$ , изменяющимся по зависимости, близкой к линейной, и равным

$$C = (n_0 - n_1) / n_0 \cdot 100\% ,$$

где  $n_0$  и  $n_1$  – соответственно частота вращения выходного вала в режиме холостого хода и под нагрузкой, мин<sup>-1</sup>.

Так, например, для лопастных гидродвигателей значение  $C = 8 \div 40$  %; для аксиально-поршневых гидродвигателей при работе на любых скоростях  $C = 2 \div 5$  %.

Время реверса у гидродвигателей от наибольшей частоты вращения до наименьшей может быть определено по формуле

$$t_{\text{рев}} = \frac{0,209(J + J_{\text{пр}})}{T} ,$$

где  $J$  – момент инерции гидродвигателя, кг·м<sup>2</sup>;  $J_{\text{пр}}$  – приведенный момент инерции вращающихся масс, связанных с валом гидродвигателя, кг·м<sup>2</sup>;  $T$  – крутящий момент, Н·м.

Существует несколько разновидностей гидроприводов вращательного движения: комбинация из двух шестеренчатых насосов, из двух лопастных насосов, из двух аксиально-поршневых насосов и, наконец, из двух плунжерных насосов.

Регулирование чисел оборотов на выходе гидропривода производится уменьшением или увеличением давления и, соответственно, расхода масла в гидродвигателе.

Наиболее эффективно применение поршневых гидроприводов (рис. 3.7).

**Гидроцилиндр** является гидравлическим двигателем, преобразующим энергию движущейся жидкости в механическую энергию движущегося поршня.

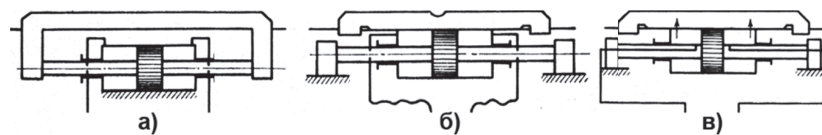


Рис. 3.7. Поршневые гидроцилиндры

Поршневые гидроцилиндры могут выполняться с неподвижным цилиндром или с перемещающимся поршнем (рис. 3.7, а), с неподвижным поршнем или подвижным цилиндром (рис. 3.7, б) и с подачей жидкости через полый шток (рис. 3.7, в).

На рис. 3.8, а показан гидроцилиндр двустороннего действия, предназначенный для сообщения возвратно-поступательного движения рабочим органам станка или перемещения рабочему органу машины. Внутри цилиндрической полости гильзы 2 перемещается поршень 6, который соединен со штоком 3 запорными кольцами 4. Цилиндр герметизируется уплотнениями 5, 1 и 8. Проушиной 7 цилиндр соединяется со станиной станка, а конец штока соединяется с исполнительным органом станка, совершающим возвратно-поступательное движение.

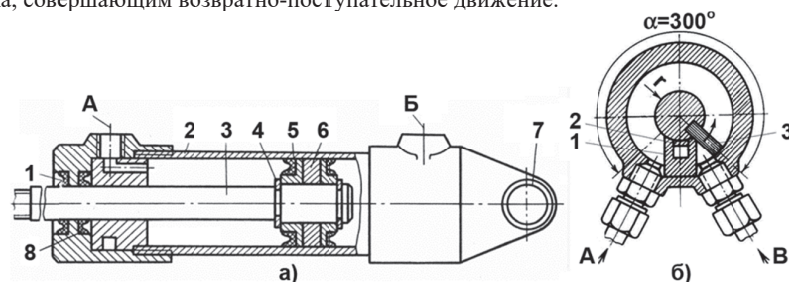


Рис. 3.8. Гидроцилиндр двустороннего действия (а); поворотный двигатель (б)

Обычно если масло подается в отверстие А, то поршень, перемещаясь вправо, сообщает исполнительному органу рабочий ход, а если в отверстие В, то исполнительный орган возвращается в исходное положение.

**Пластинчатый (лопастной) поворотный двигатель** предназначен для получения угловых периодических движений (рис. 3.8, б).

Такой гидродвигатель состоит из корпуса, вала радиуса  $r$  с закрепленной на нем лопастью 3 и упора 1 с уплотнением 2, разделяющего полость цилиндра на две части. При подаче масла в отверстие В, расположенное справа от упора 1, лопасть 3 вращает вал против часовой стрелки, а при подаче масла в отверстие А, расположенное слева от упора 1, лопасть 3 вращает вал по часовой стрелке. Наибольший угол качания лопасти – 300°. Движение вала может быть использовано для привода ленточного шагового транспортера и т.п. механизмов, использующих периодическое движение.

В табл. 3.8 приведены основные расчетные зависимости для гидроцилиндров поступательного и поворотного движения и формулы для определения характеристик гидроцилиндров.

Объемный КПД поршневого гидроцилиндра весьма значителен и составляет:

$$\eta_0 = 0,98 \div 0,99 .$$

У поворотных гидроцилиндров  $\eta_0$ , несколько ниже вследствие сложности уплотнения по некруглому поперечному сечению.

У гидроцилиндров двустороннего действия с односторонним штоком или с разными по площади сечения штоками движение осуществляется в разные стороны с неодинаковыми скоростями. При подборе гидроцилиндра задаются рабочим давлением и на основании уравнения

$$P = pF$$

определяют конструктивные размеры поперечного сечения цилиндра (давлением в сливной полости пренебрегают). Целесообразно иметь некоторый запас и по усилию, с тем, чтобы компенсировать неучтенные потери при расчете. Для обеспечения перемещений с малыми ходами и большими усилиями применяют мембранные гидроцилиндры. Их активную площадь приблизительно определяют по формуле

$$F \approx 0,262 (D^2 + Dd + d^2),$$

где  $D$  – диаметр заделки мембраны;  $d$  – диаметр жесткого центрального диска.

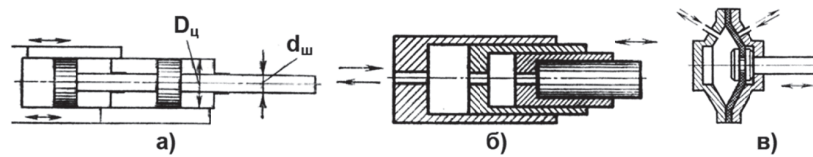


Рис. 3.9. Методы повышения мощности гидродвигателей:

а – двойные; б – телескопические; в – мембранные гидроцилиндры.

Для сокращения габаритных размеров поперечного сечения применяют двойные цилиндры (рис. 3.9, а), в которых усилие суммируется. Для уменьшения габаритного размера по длине (высоте) при значительном ходе применяются телескопические гидроцилиндры (рис. 3.9, б) или мембранные гидроцилиндры (рис. 3.9, в).

В зависимости от прочности штока длину хода поршня рекомендуется принимать равной не более 10 диаметров цилиндра. Длина цилиндра в зависимости от назначения и с учетом технологии изготовления определяется отношением

$$L/D \leq 20.$$

Отношение диаметра штока к диаметру цилиндра выбирается конструктивно и колеблется в широких пределах:

$d_{шт}/D = 0,2 \div 0,7$ , причем большее значение обычно выбирается для более нагруженных установок.

Гидроцилиндры рассчитываются и проверяются на прочность по формулам:

$$R = r \sqrt{\frac{100[\sigma]_p + 0,4p_y}{100[\sigma]_p - 1,3p_y}};$$

$$\sigma_p = 0,01 \frac{0,4r^2 + 1,3R^2}{R^2 - r^2} p_y \leq [\sigma]_p,$$

где  $R$  и  $r$  – наружный и внутренний радиусы гидроцилиндра;  $p_y$  – условное давление жидкости, МПа;  $\sigma_p$  – напряжение растяжения на внутренней поверхности стенки цилиндра, МПа;  $[\sigma]_p$  – допустимое напряжение на растяжение, МПа, равное 110–120 МПа для углеродистой стали и 150 – 180 МПа для легированной.

Фланцы и крышки гидроцилиндров крепятся болтами, усилия затяжки которых ( $H$ ) для обеспечения герметичности должны быть равны

$$P_3 = 0,785k [p_{np}(D_n^2 - D_s^2) + p D_s^2],$$

где  $p_{np}$  – контактное давление между прокладкой и уплотняемыми деталями, МПа;

$D_s$  и  $D_n$  – внутренний и наружный диаметры прокладки, мм;

$p$  – давление жидкости, МПа.

Коэффициент  $k = 2$  при  $p \leq 1,0$  МПа и  $k = 3$  при  $p \leq 5,0$  МПа; для широких прокладок, не ограниченных канавками, отношение  $p_n/p = 2 \div 4$ ; для прокладок, помещенных в канавки,  $p_n/p = 3 \div 8$  (большие значения для узких прокладок).

Ряд номинальных давлений в гидроцилиндрах следующий: 6,3; 10; 16; 20; 25; 32; 40; 50 МПа.

Таблица 3.8

Основные зависимости для силовых гидроцилиндров

| Параметры   | Гидроцилиндры  |  |
|---|--|--|
|   | поршневые  | поворотные   |
| Расход жидкости $Q$ (л/мин) при заданной скорости (м/мин) или $A\omega$ (рад/с)   | $Q = 0,1Fv$  | $Q = 6 \cdot 10^{-5} b\omega (R^2 - r^2)$                                    |
| Рабочая площадь цилиндра $F$ , см <sup>2</sup> :<br>– штоковая полость;<br>– противоштоковая полость;<br>– плунжерный цилиндр   | $F_{шт} = 0,785 (D^2 - d_{шт}^2) \cdot 10^2$<br>$F_{пшт} = 0,785 D^2 \cdot 10^{-2}$<br>$F_{пл} = 0,785 D_{пл}^2 \cdot 10^{-8}$ | $F = 0,016b (R - r)$   |
| Развиваемое усилие, Н   | $P = 10^2 F \Delta p$  |  |
| Развиваемый крутящий момент, Н·м  | –  | $T_k = \frac{b(R^2 - r^2)}{2 \cdot 10^3} \Delta p$                           |
| Мощность, кВт   | $N = \frac{\Delta p Q}{60} = \frac{p v}{6 \cdot 10^4}$   |  |
| Время одного двойного хода, с   | $t = \frac{6L}{10^3 Q} (F_1 + F_2) + 2\Delta t$  | $t = \frac{6\alpha}{180} \cdot \frac{\pi b (R^2 - r^2)}{10^5 Q} + 2\Delta t$ |
| <b>Примечания:</b><br>1. В формулах объемный и механический КПД не учтены. 2. $D$ , $d_{шт}$ и $D_{пл}$ – диаметры цилиндра, штока и плунжера, мм; $L$ – длина хода поршня гидроцилиндра, мм; $\Delta p$ – разность между давлениями в полостях нагнетания и слива, МПа; $\alpha^\circ$ – угол поворота лопасти гидроцилиндра; $R$ и $r$ – наибольший и наименьший радиусы лопасти поворотного гидроцилиндра, мм; $\Delta t$ – время реверсирования в крайнем положении, с; $b$ – ширина лопасти, мм. |  |  |



**Фильтры.** Для очистки масла, заполняющего гидросистему, применяют фильтры. Их располагают в всасывающей линии насоса или в сливной магистрали.

Фильтры применяют для очистки масла от попавших в него твердых частиц. В качестве фильтрующего элемента используют сетки, фетр, войлок, бумагу и т. д. Недостатком этих фильтров является необходимость частичного их демонтажа для замены фильтрующего элемента.

Приемные фильтры отличаются друг от друга способом монтажа на резервуаре с маслом. Фильтр, корпус которого с фильтрующим элементом располагается над резервуаром, называют непогружным (рис. 3.10), а фильтр, корпус которого хотя бы частично погружается в масло, называют погружным.

Пластинчатый фильтр нашел широкое применение (рис. 3.10). Фильтрующий элемент пластинчатого фильтра состоит из набора пластин 1, разделенных скребками 2, толщина которых определяет размер фильтрующей щели между пластинами 1. Масло поступает в отверстие 3 корпуса фильтра, проходит через фильтрующие щели, в которых задерживаются частицы, загрязняющие масло. Очищенное масло отводится через отверстие 5. Для очистки фильтрующих промежутков периодически поворачивают ручку 4, вместе с которой поворачиваются скребки 2, которые удаляют грязь из фильтрующих промежутков. Грязь собирается в стакане и периодически удаляется из него через отверстие, закрытое пробкой 6.

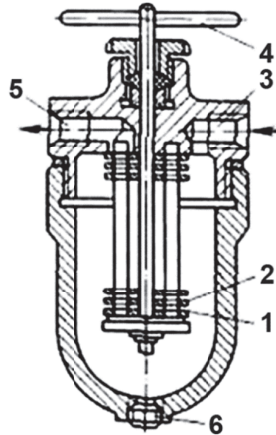


Рис.3.10. Фильтр пластинчатый, располагаемый во всасывающей линии насоса

Фильтры могут включаться для последовательной или для параллельной работы. В первом варианте предусматривается пропуск через все фильтры полного объема рабочей жидкости, во втором – через каждый фильтр проходит только определенная часть.

Так как при параллельном включении скорость протекания рабочей жидкости через фильтрующие элементы меньше, чем при последовательном, то и очистка масла при прочих равных условиях происходит более полно.

Через фильтрующий элемент рабочая жидкость проходит под действием разности давлений перед фильтром и после него. Для фильтрации минеральных масел в гидросистемах и системах смазки станков и других машин применяются щелевые (пластинчатые) фильтры. Расширяется применение фильтров с металлической, чаще всего с латунной сеткой с количеством ячеек от 3000 на 1 см<sup>2</sup>.

Для защиты высокочувствительных к загрязнению элементов гидросистемы используются напорные фильтры тонкой фильтрации, которые устанавливаются непосредственно перед защищаемыми элементами.

**Фильтроэлементы** в фильтрах могут быть из металлической сетки и бумажные, которые изготовляют из высокосортных хлопковых волокон или древесной целлюлозы. Бумажный фильтроэлемент представляет собой гофрированный цилиндр из фильтровальной бумаги. Во избежание разрыва от давления рабочей жидкости бумажный фильтроэлемент защищают металлической сеткой или сеткой из синтетического материала. Схема работы фильтра с бумажными фильтроэлементами аналогична работе пластинчатого фильтра.

**Трубопроводы.** Система трубопроводов состоит из труб и их соединений. В зависимости от конструктивного назначения трубопроводы бывают жесткие (металлические) и гибкие (резиновые шланги, гибкие металлические рукава). Для изготовления трубопроводов гидро- и смазочных систем следует применять бесшовные трубы и шланги прозрачные пластмассовые армированные синтетическими нитями, если они допустимы по условиям эксплуатации.

Допускается применение труб из алюминиевых сплавов, латунных труб и медных труб для трубопроводов с наружным диаметром не более 6 мм, а при диаметре свыше 6 мм - только при затрудненных условиях монтажа.

Гибкие трубопроводы (резиновые рукава и пластиковые трубы) в гидросистемах должны применяться только для подвода масла к подвижным узлам, узлам, служащим для закрепления деталей, съемным узлам, а также в местах, где затруднен монтаж, и в случаях, дающих преимущество (уменьшение вибраций и шума).

### 3.3. ПРИВОД ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ

Пневматический привод (или, сокращенно, пневмопривод) широко применяется в производственных машинах, механизмах, в том числе в металлорежущих станках. Если в гидроприводе источником энергии служит жидкость под давлением, то в пневмоприводе источником энергии служит сжатый воздух, которым в конечном счете приводится в движение исполнительный орган машины. В пневмоприводе источник энергии - сжатый воздух, создается преобразованием других видов энергии, в основном электричества.

Пневматический привод применяется в основном для преобразования поступательного движения в другие виды движений. Однако в отдельных случаях, при вращательном движении, таких как пневмошпиндели, различного рода бормашины и т.п. пневматический привод не имеет конкурентов.

### 3.3.1. УСТРОЙСТВО ПНЕВМОПРИВОДА

Пневмоприводы (рис. 3.11) по принципу действия имеют много общего с гидравлическими устройствами.

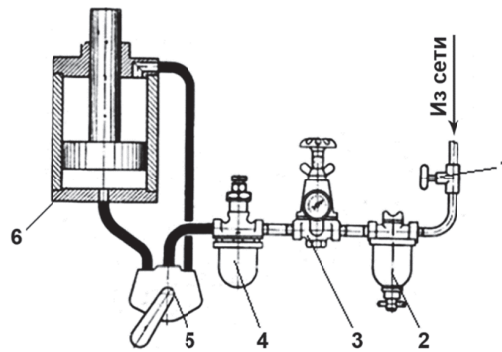


Рис. 3.11. Схема пневмопривода:

1 – кран магистральный; 2 – фильтр-влагоотделитель; 3 – регулятор давления;  
4 – маслораспылитель; 5 – распределительный кран (золотник); 6 – исполнительное устройство – пневмоцилиндр

Работоспособность пневмопривода в большой степени зависит от состояния уплотнений, которые обеспечивают работу неподвижных и подвижных соединений с минимальными утечками сжатого воздуха.

Сжатый воздух, поступающий из магистрали, должен быть подготовлен для использования в пневмоприводе, т.е. он должен быть отчищен фильтрами-влагоотделителями от влаги и механических примесей, подаваться в рабочую магистраль при постоянном давлении и содержать распыленное масло для смазки трущихся поверхностей деталей, которые работают в среде сжатого воздуха.

Давление воздуха в магистрали обычно колеблется от 0,4 до 0,6 МПа. На выходе из регулятора давления в зависимости от его типа можно получить стабильное давление воздуха желаемой величины – от 3,5 до 0,6 МПа.

### 3.3.2. РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

**Плунжер** – золотник (так же как в гидроприводе на рис.3,6, а) управляет потоком воздуха тем, что соединяет напорную магистраль с рабочей полостью цилиндра. Отработанный воздух сбрасывается в атмосферу. Перемещение плунжера может выполняться вручную, кинематическими устройствами (например, кулачками), электромагнитами, а также гидравлическими или пневматическими устройствами.

**Распределительный кран** (рис. 3.12) служит для изменения направления движения сжатого воздуха.

Если рукоятка крана 6 расположена так, чтобы каналы золотника 5 были параллельны горизонтальной оси, то сжатый воздух подается в левую полость 1 цилиндра и поршень 2 со штоком 4 перемещается вправо; при этом воздух из полости 3 цилиндра выпускается через распределительный кран в атмосферу.

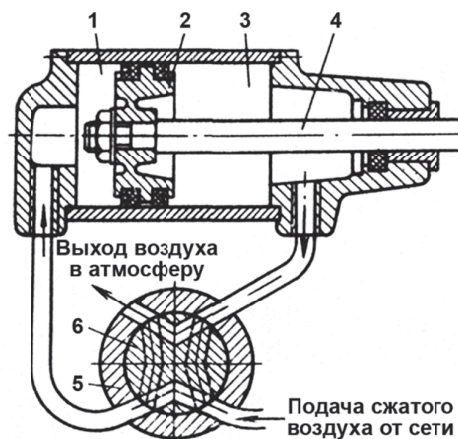


Рис. 3.12. Схема работы распределительного крана с плоским золотником для воздуха

При положении рукоятки крана 6, в котором каналы золотника 5 располагаются вдоль вертикальной оси, сжатый воздух подается в полость 3 цилиндра, а воздух из полости 1 цилиндра выпускается через распределительный кран в атмосферу.

### 3.3.3. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

**Пневмоцилиндр** является пневматическим двигателем (рис. 3.13, а), преобразующим энергию сжатого воздуха в механическую движущегося поршня: 1 – кольцо круглого сечения неподвижное, 2 – кольцо круглого сечения подвижное, 3 – поршень. Поршневые пневмоцилиндры могут выполняться с неподвижным цилиндром или с перемещающимся поршнем, а также с неподвижным поршнем или подвижным цилиндром.

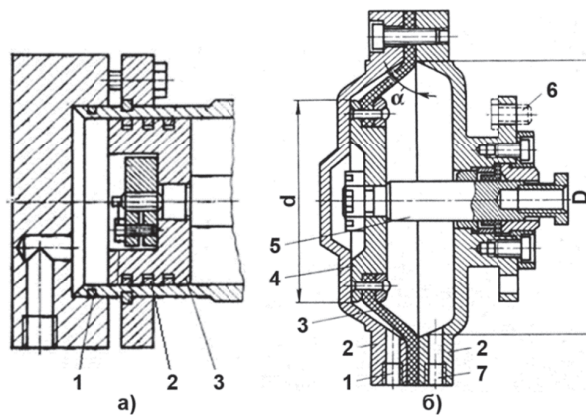


Рис. 3.13. Исполнительные устройства:  
а – пневмоцилиндр; б – пневмокамера

**Пневмокамера** двустороннего действия (рис. 3.13, б) крепится к корпусу устройства фланцем с болтами 6. При подаче через отверстие 1 сжатый воздух попадает в бесштоковую полость, которая образуется с одной стороны крышкой 2, а с другой – эластичной диафрагмой 3, зажатой по наружному диаметру  $D$  крышкой 2 и по внутреннему диаметру  $d$  диском 4 с штоком 5. Сжатый воздух перемещает вправо диафрагму 3 вместе с диском 4 и штоком 5, который соединен с зажимным механизмом. При подаче сжатого воздуха в отверстие 7 диафрагма 3 вместе с присоединенными к ней деталями возвращается в исходное положение.

**Турбины.** Турбины различной конструкции, но одного принципа действия, применяются непосредственно с рабочим инструментом (фрезой или абразивным кругом) или в качестве встроенного привода с механической передачей (дрели) для получения вращательного движения.

### 3.4. ПРИВОД С СИСТЕМОЙ ЧИСЛОВОГО ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ (СЧПУ)

В настоящее время в технологических машинах находит применение программирование рабочего цикла с помощью встроенной в машину или периферийной ЭВМ. Цикл включает начало работы, при котором рабочие органы принимают исходное положение, затем ими выполняются рабочие движения (например, захват груза, отрыв от платформы, поворот на требуемый угол, опускание его на платформу технологической машины) и выполняется возврат в исходное положение. Следовательно, работа машины или металлорежущего станка зависит от работы привода (электрического и (или) гидравлического), управление которым может осуществляться вручную или системой числового программного управления (СЧПУ).

#### 3.4.1. ПРИНЦИП РАБОТЫ СЧПУ

Рассмотрим принцип работы СЧПУ с исполнительным механизмом на примере металлорежущего станка с числовым программным управлением (ЧПУ).

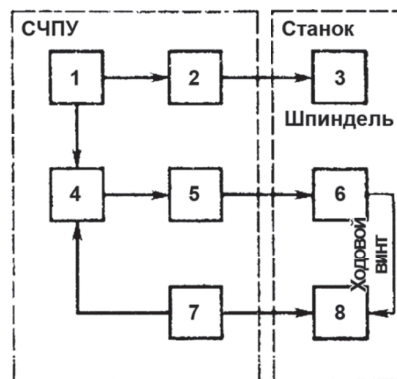


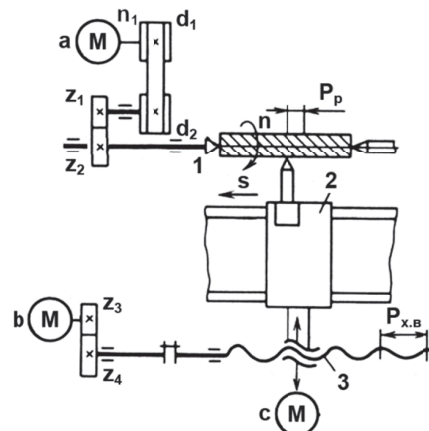
Рис. 3.14. Обобщенная структурная схема связи СЧПУ со станком

Обобщенная структурная схема СЧПУ, управляющая металлорежущим станком, представлена на рис.3.14. Устройство 1 ввода программы считывает программу, т.е. преобразовывает ее в электрические сигналы и направляет в устройство 4 отработки программы, которое через устройство 5 управления приводом воздействует на объект регулирования – привод 6 подач, который связан с перемещением заготовки или инструмента. Перемещение подвижной части станка, связанной с приводом 6 подач, контролирует датчик 8, включенный в цепь главной обратной связи. Информация с датчика 8 через устройство 7 обратной связи поступает в устройство 4 отработки программы, где происходит сравнение фактического перемещения с заданным. Если результат сравнения выявит несовпадение заданного и фактического перемещения, то программа вносит соответствующие коррективы в перемещение исполнительного органа. Для исполнения других функций с устройства 1 ввода программы электрические сигналы поступают в устройство 2 технологических команд (рис.3.14), которое воз-

действует на исполнительные элементы 3 технологических команд (двигатели, электромагниты, электромагнитные муфты и др.); при этом исполнительные элементы включаются или выключаются.

Приводы с ЧПУ классифицируются по назначению и принципу работы (основные признаки); по типам двигателей, видам схем управления, месту установки и др. (дополнительные признаки). По назначению выделяют приводы главного движения, подачи и вспомогательных механизмов.

На рис. 3.15. приведена упрощенная кинематическая схема токарного станка с ЧПУ с применением приводов главного движения (а) и механизма подачи (б и в), управление которым осуществляется СЧПУ, показанной на рис. 3.14.



**Рис. 3.15.** Упрощенная кинематическая схема токарного станка с ЧПУ:  
а – привод главного движения; б – привод ШД для продольного перемещения суппорта (ходовой винт);  
с – привод ШД для поперечного перемещения суппорта (ходовой винт)

По принципу работы приводы с ЧПУ бывают электрические, электрохимические, гидравлические и электрогидравлические. Электрический и электрохимический привод состоит из электродвигателя и кинематической цепи, включающей в себя редукторы, вариаторы, ременные и цепные передачи, муфты и т.п. В состав гидравлических приводов входят насосная станция и гидродвигатели различных видов. Электрогидравлические приводы включают в себя элементы электро- и гидрооборудования. В схемах управления электроприводом, как правило, предусмотрены вспомогательные элементы, предназначенные для защиты станка (от перегрузки), электродвигателей (от перегрева), рабочего (от травм).

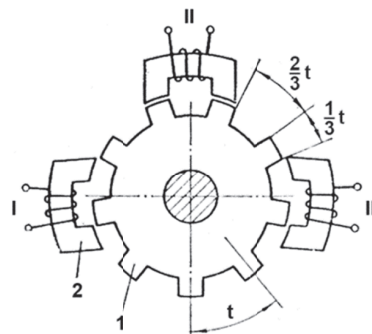
### 3.4.2. ПРИВОДЫ ГЛАВНОГО ДВИЖЕНИЯ

В приводах главного движения (рис. 3.15, а) применяются электродвигатели постоянного тока, которые называются электроприводами постоянного тока, а также приводы с асинхронным или синхронным электродвигателем – электроприводом переменного тока.

### 3.4.3 ПРИВОДЫ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ С ШД

В приводе подачи применяются шаговые двигатели (ШД) (рис.3.15, б и в).

Современные быстродействующие ШД являются модифицированными синхронными электрическими машинами, обмотки которых возбуждаются несинусоидальными сигналами, т. е. прямоугольными или ступенчатыми импульсами напряжения с изменяющейся в широких пределах частотой. Ступенчатому характеру напряжений на фазах ШД соответствует дискретное вращение электромагнитного поля в воздушном зазоре двигателя. Вследствие этого движение ротора на низкой частоте складывается из последовательности элементарных перемещений, совершаемых по аperiodическому или колебательному закону. При возрастании управляющей частоты неравномерность частоты вращения ротора ШД сглаживается.



**Рис. 3.16.** Шаговый двигатель: схема устройства и принципа действия

На рис. 3.16 приведена схема действия ШД с ротором 1 и трехсекционным статором 2. Статор имеет расположенные по кругу три секции I, II и III, каждая из которых смещена по окружности относительно рядов расположенных полюсов ротора на  $\frac{1}{3}t$ , где  $t$  – шаг межполюсного расстояния ротора.

Если полюсы секции II статора располагаются против полюсов ротора, то полюсы секций I и III статора смещены относительно полюсов ротора соответственно на  $\frac{2}{3}t$  и на  $\frac{1}{3}t$ . При подаче напряжения в секцию II статора ротор будет неподвижен, так как в этом положении он имеет минимальное магнитное сопротивление. При подаче напряжения в секцию

III статора ротор повернется по часовой стрелке на  $1/3 t$  и полюсы этой секции встанут против полюсов ротора. При подаче напряжения в секцию I ротор снова повернется по часовой стрелке на  $1/3 t$  и т. д. Последовательная подача импульсов на обмотки электромагнитов статора соответствующих секций будет формировать прерывистое (шаговое) вращение ротора.

Каждому импульсу управления соответствует поворот вала на фиксированный угол (шаг двигателя), величина которого однозначно определена конструкцией ШД и способом переключения его обмоток. Частота вращения и суммарный угол поворота вала пропорциональны соответственно частоте и числу поданных импульсов управления. В отличие от синхронных двигателей в ШД переход в синхронное движение из состояния покоя осуществляется без скольжения, а торможение – без выбега ротора. Благодаря этому ШД (в рабочем диапазоне частот) обеспечивают внезапный пуск, остановку и реверсирование без потери информации, т. е. без пропуска шагов.

Шаговые двигатели можно разделить на две группы:

- 1) привод с силовым ШД, соединенным через кинематическую цепь с исполнительным механизмом;
- 2) привод с управляющим ШД и промежуточным усилителем момента, выполненным в виде автономной следящей системы (обычно гидравлической).

В первой группе динамические и статические характеристики привода определяются параметрами ШД, во второй – зависят от параметров следящей системы, которой управляет ШД.

В станках с ЧПУ в приводах подачи применяют ШД в сочетании с гидроусилителями крутящих моментов (рис. 3.17).

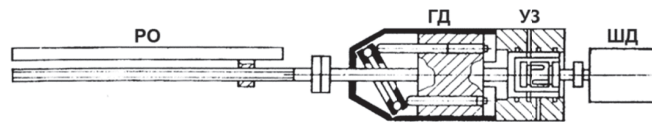


Рис. 3.17. Шагово-импульсный привод подачи с гидроусилителем крутящих моментов:

РО – рабочий орган с винтовой передачей; ГД – гидродвигатель; УЗ – управляющий золотник; ШД – шаговый двигатель

В качестве силового органа такого усилителя используют гидродвигатель (рис. 3.17), выходной вал которого соединен с винтовой передачей исполнительного механизма.

Механические передачи – часть системы привода, заключенные между выходным звеном источника движения (например, выходным валом электродвигателя или штоком гидроцилиндра) и звеном потребления механической энергии и предназначенная для кинематического преобразования движения на этом пути. Под кинематическим преобразованием понимают изменение направления усилия и скорости при линейном перемещении или изменение плоскости поворота при вращательном движении.

В перспективе механические передачи в приводе станков с ЧПУ будут играть менее значимую роль, так как их функции можно будет реализовывать с помощью электрических или гидроэлектрических устройств. Однако в настоящее время, несмотря на переход к электрическим способам управления движениями, роль механических передач в станках с ЧПУ достаточно велика, что объясняется их простотой, надежностью и экономичностью.

#### 3.4.4. СЛЕДЯЩИЙ ПРИВОД С ЧПУ

Обычно для управления перемещениями рабочего органа используются широко распространенными элементами путевого управления, которыми являются (конечные) выключатели, устанавливаемые в определенных точках пути, для управления электрическими цепями управления и автоматики. Например, путевые выключатели размещают в суппортах станков, где они ограничивают их ход, подавая в конце контролируемого перемещения сигнал на отключение двигателя привода подачи.

Следящий привод представляет собой автоматическую систему с ЧПУ, с помощью которой рабочий орган станка (машины) перемещается по линейной или круговой траектории в заданную точку траектории и контролирует его конечное положение с определенной точностью, называемой *точностью позиционирования*. Такие приводы создаются на базе типовых регулируемых электроприводов систем с ЧПУ, датчиков положения и коротких механических передач.

В системах с ЧПУ для контроля положения их перемещающихся узлов широко применяют бесконтактные путевые выключатели, которые обладают рядом достоинств: отсутствием механического взаимодействия, высоким быстродействием, частотой переключений; они не чувствительны к механическим воздействиям и могут работать при больших скоростях перемещений узлов.

Датчики постоянно контролируют перемещение на траектории и положение перемещающегося рабочего органа относительно заданной координаты точки на траектории (величину перебегов), давая команду с датчика 8 через устройство 7 обратной связи на его перемещение в прямом или обратном направлении относительно координаты точки (рис. 3.14). Величина этих перемещений, амплитуда колебаний относительно заданной точки, координаты точки, на траектории, зависит от разрешающих возможностей системы с ЧПУ и определяет точность позиционирования рабочего органа. У металлорежущих станков величина точности позиционирования связана с точностью обработки деталей. Чем она меньше, тем возможна более точная обработка деталей.

Особое место в системах автоматического управления электроприводами занимают датчики скорости – тахогенераторы, преобразующие механическое перемещение (вращение вала) в электрический сигнал. Важным параметром тахогенератора является выходная характеристика – зависимость выходного напряжения от частоты вращения вала: чем выше линейность этой характеристики, тем точнее выявляется эта зависимость. Тахогенераторы могут быть как переменного, так и постоянного тока.

Тахогенераторы постоянного тока – это небольшие генераторы постоянного тока с независимым возбуждением или с возбуждением от постоянных магнитов. Конструктивно они не отличаются от обычных машин постоянного тока малой мощности. Ввиду того что при постоянной величине тока возбуждения магнитный поток не зависит от нагрузки, выходная ЭДС такого генератора по величине прямо пропорциональна частоте вращения.

В отличие от тахогенератора постоянного тока асинхронные тахогенераторы являются бесконтактными и поэтому более надежны в эксплуатации. По конструкции такие тахогенераторы не отличаются от асинхронных исполнительных двигателей.



## Глава 4

# ТРЕНИЕ И СМАЗКА В МЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧАХ

### 4.1. ВЛИЯНИЕ ТРЕНИЯ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ

Фактор трения во многом определяет работоспособность машины.

Трением называется сопротивление относительному перемещению соприкасающихся и взаимодействующих тел, возникающее в зоне их контакта.

По характеру относительного движения трущихся тел различают:

1. Трение скольжения, которое может возникнуть при соприкосновении тел по поверхности, по линии или в точке.

Под линейчатым контактом понимают касание по малым площадям, протяженность которых в одном направлении практически мала и зависит от смятия поверхностей. Под точечным контактом подразумевают касание по еще меньшим площадям, имеющим во всех направлениях малую протяженность, зависящую от смятия поверхностей.

2. Трение качения, возникающее при перекатывании одного тела по другому. Касание тел может быть линейчатым (по прямой) или точечным. Мгновенная ось вращения одного тела относительно другого при чистом качении совпадает с прямой касания или проходит через все точки касания.

3. Трение вращения, которое может появиться при точечном соприкосновении (обычно в одной точке). Площадь касания мала и зависит от смятия поверхностей. Относительное движение тел вращения вокруг оси, проходящей через точку касания по нормали к соприкасающимся поверхностям.

На практике часто один вид трения сопровождается другим.

По характеру смазки трущихся поверхностей различают:

- чистое трение при отсутствии на трущихся поверхностях следов посторонних веществ (в механизмах не встречается, может быть получено в вакууме);

- сухое трение при отсутствии смазки (в механизмах возможно при хорошей изоляции трущихся поверхностей от системы смазки);

- полусухое трение, сочетание сухого и граничного (смазка в порах поверхностей);

- граничное трение при очень тонкой масляной пленке (0,1 мкм и менее), прочно удерживающейся на трущихся поверхностях (смазка ненасыщенным туманом);

- полужидкостное трение - сочетание жидкостного и граничного;

- жидкостное трение, когда трущиеся поверхности полностью разделены слоем смазки.

Попадание достаточного количества смазки в зазор между трущимися поверхностями обеспечивается:

а) самозатягиванием при достаточной скорости движения и при наличии соответствующих поверхностей, образующих масляный клин в сочетании с явлением капиллярности;

б) подачей смазки в зазор под давлением, что обеспечивает жидкостное трение при сколь угодно малой скорости относительного движения поверхностей (применяется, например, для смазки направляющих некоторых станков).

#### 4.1.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ЗАКОНЫ ТРЕНИЯ

Вектор силы трения лежит в касательной плоскости к трущимся поверхностям и направлен против скорости относительного движения.

*Сила трения покоя* имеет место до начала движения при действии сдвигающей силы. Величина неполной силы трения покоя равна приложенной сдвигающей силе; величина полной силы трения равна предельному значению сдвигающей силы, при котором может начаться относительное движение тел.

*Сила трения движения* возникает при относительном движении тел. Ее величина не зависит от движущей силы, превышение которой над силой трения вызывает ускорение движения тела.

Величины силы трения движения и предельной силы трения покоя при скольжении зависят от следующих факторов:

а) нормальной силы;

б) удельного давления на трущихся поверхностях;

в) скорости относительного движения;

г) материалов трущихся тел;

д) гладкости (шероховатости, чистоты) трущихся поверхностей;

е) смазки и загрязнения трущихся поверхностей.

Величина силы трения качения кроме перечисленных факторов зависит еще от радиусов кривизны поверхностей в месте их соприкосновения.

#### 4.1.2. ТРЕНИЕ СКОЛЬЖЕНИЯ

Трение скольжения за исключением жидкостного характеризуется следующими соотношениями (рис. 4.1).

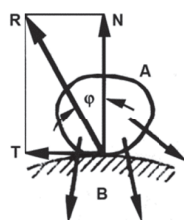


Рис. 4.1. Схема взаимодействия сил при скольжении тел



Если силы, приложенные к телу А, стремятся его сдвинуть (или же двигают) по опорной поверхности В, то в месте контакта помимо нормальной составляющей реакции N возникает касательная составляющая Т, направленная против движения действительного или возможного, обусловленная шероховатостью и называемая силой трения. Наибольшая величина силы сухого трения пропорциональна нормальному давлению трущихся поверхностей друг на друга.

$$T_{\max} = f \cdot N \text{ или } T_{\max} \leq f \cdot N,$$

где  $f$  – коэффициент трения скольжения (безразмерная величина). Величина  $f$  зависит от материала и степени обработки (а также от температуры) трущихся поверхностей. В момент начала движения ( $T=T_{\max}$ )  $f$  имеет наибольшее значение (статический коэффициент трения или коэффициент трения при покое), после чего сразу несколько уменьшается, изменяясь в дальнейшем со скоростью сравнительно мало. При этом для большинства материалов  $f$  при увеличении скорости уменьшается. Ориентировочные значения коэффициентов трения скольжения приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

| Материалы трущихся поверхностей | Коэффициенты трения скольжения |            |             |            |
|---------------------------------|--------------------------------|------------|-------------|------------|
|                                 | Коэффициент трения, $f$        |            |             |            |
|                                 | покоя                          |            | движения    |            |
|                                 | насухо                         | со смазкой | насухо      | со смазкой |
| Сталь – сталь                   | 0,15                           | 0,1–0,12   | 0,15        | 0,05–0,1   |
| Сталь–мягкая сталь              | –                              | –          | 0,2         | 0,1–0,2    |
| Сталь – чугун                   | 0,3                            | –          | 0,18        | 0,05–0,15  |
| Мягкая сталь – чугун            | 0,2                            | –          | 0,18        | 0,05–0,15  |
| Сталь – бронза                  | 0,15                           | 0,1–0,15   | 0,15        | 0,1–0,15   |
| Сталь – ферродо                 | –                              | –          | 0,15 – 0,25 | –          |
| Сталь – текстолит (фибра)       | –                              | –          | 0,15 – 0,25 | –          |
| Мягкая сталь – бронза           | 0,2                            | –          | 0,18        | 0,07–0,15  |
| Чугун – чугун                   | –                              | 0,15       | 0,15        | 0,07–0,12  |
| Чугун – бронза                  | –                              | –          | 0,15–0,2    | 0,07– 0,15 |
| Бронза – бронза                 | –                              | 0,1        | 0,2         | 0,07–0,1   |

Углом трения  $\varphi$  называется угол между полной реакцией R и нормальной реакцией N. При  $T=T_{\max}$  этот угол называется предельным углом трения. Угол трения  $\varphi$  выражается зависимостью

$$\varphi = \text{arctg } f.$$

### 4.1.3. ТРЕНИЕ КАЧЕНИЯ

Трение качения возникает при перекачивании круглого тела по поверхности качения.

При качении тела по поверхности другого (рис. 4.2) к его оси должна быть приложена сила Р для преодоления сопротивления, выражаемого моментом сопротивления при качении (моментом пары трения качения):

$$m = kN,$$

где N – нормальное давление (в случае рис. 4.2 N равна весу G);  $k$  – коэффициент трения качения (выражается в единицах длины), называемый также плечом пары трения.

Пара  $N'$  и  $N''$  с моментом  $m$  смещает нормальную реакцию N в сторону движения на расстояние  $k$ . Качение без скольжения имеет место, если  $f\gamma > k$ .

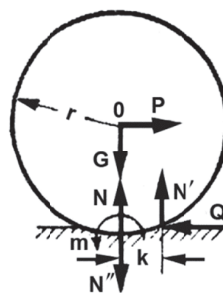


Рис. 4.2. Схема взаимодействия сил при качении тел

Ориентировочные значения коэффициентов трения качения круглого тела по поверхности качения приведены в табл. 4.2.

Таблица 4.2

| Материалы круглого тела и поверхности качения | Коэффициент трения $k$ , см |
|---|-----------------------------|
| Мягкая сталь – мягкая сталь                   | 0,005                       |
| Закаленная сталь – закаленная сталь           | 0,001                       |
| Чугун – чугун                                 | 0,005                       |
| Дерево – сталь                                | 0,03–0,04                   |

## 4.1.4. ЖИДКОСТНОЕ ТРЕНИЕ

Если скользящие поверхности (ползуна и направляющей) (рис. 4.3) разделены непрерывным слоем смазочного материала толщиной  $h$ , толщина которого больше суммы выступов (шероховатости, а иногда деформации)  $Rz_1$  и  $Rz_2$  на поверхностях сопряженных тел, то трение происходит лишь в смазочном слое  $\delta > 0$ , т. е. имеет место жидкостное трение.

$$\delta = h - (Rz_1 + Rz_2) \gg 0.$$

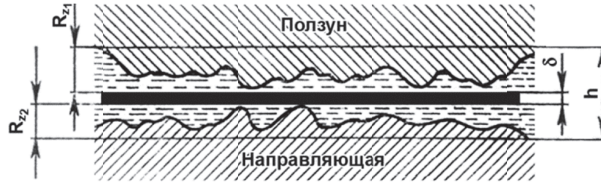


Рис. 4.3. Схема жидкостного трения

Сила  $T$  жидкостного трения в слое  $\delta$  не зависит ни от материала, ни от гладкости поверхностей скользящих тел (или зависит от них лишь в незначительной степени), но зависит от площади поверхностей скольжения  $S$ , скорости скольжения  $v$ , толщины смазочного слоя  $h$  и вязкости  $\eta$  (внутреннего трения) жидкости в соответствии с законом Ньютона:

Жидкостное трение характеризуется формулой для силы внутреннего трения

$$T = \eta \frac{Sv}{h}.$$

Коэффициент жидкостного трения  $\eta$ , отнесенный к силе нормальной нагрузки, лежит обычно в границах между 0,001 и 0,005, т. е. близок к значениям коэффициента трения качения.

Однако для обеспечения жидкостного трения недостаточно только подать смазку между поверхностями скольжения, так как сама смазка не обладает достаточной несущей способностью (грузоподъемностью), для того чтобы воспринять нагрузку между скользящими телами и образовать слой, достаточно толстый для перекрытия шероховатостей поверхностей. Чтобы смазка могла выполнить эти функции, она должна поступать между скользящими телами под давлением, превышающим давление от передаваемой нагрузки. Это может быть обеспечено двумя способами. Первый способ – гидростатический, который создается при наличии напорного устройства, подающего смазочный материал под давлением  $P_{см}$  (насоса) (рис. 4.4, а).

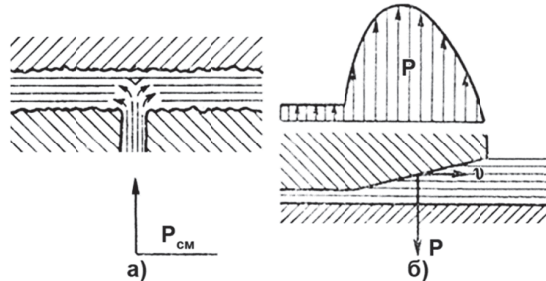


Рис. 4.4. Схема жидкостного трения: а – гидростатический; б – гидродинамический

Однако этот способ не обеспечивает равновесия между нагрузкой и давлением  $P_{см}$  смазки, удорожает машину и ограничивает возможность создания значительного давления. Поэтому к данному способу обращаются лишь в тех случаях, когда нет возможности применить второй, более простой способ – гидродинамический (рис. 4.4, б).

Если наклонная пластина движется в потоке жидкости, то возникает гидродинамическое давление  $P$ , приподнимающее пластину. Это давление при прочих одинаковых условиях зависит от скорости  $v$  жидкости и от угла наклона пластины относительно направления движения пластины в жидкости. Это обстоятельство используется при смазке деталей и машин для создания в смазочном слое подъемной силы и обеспечения плавания детали на слое смазки.

Таким образом, жидкостное трение обеспечивается в случае, если несущая способность масляного слоя будет равна нормальной силе при заданной скорости относительного движения и при толщине масляного слоя, превышающей сумму высот неровностей на поверхностях трения. При небольшой шероховатости ( $s$  с наибольшей высотой неровностей до 0,1 толщины масляного слоя) получаем надежное жидкостное трение с характером движения жидкости в зазоре, близким к ламинарному. При более шероховатых поверхностях трения и большой скорости относительного движения поверхностей движение жидкости в зазоре становится турбулентным и потери на трение сильно возрастают. Получающийся вследствие этого нагрев масла в зазоре и снижение его вязкости создают опасность разрыва масляного слоя и нарушения жидкостного характера трения.

На практике приведенный коэффициент жидкостного трения с учетом смазки определяют по формуле:

$$C_{np} = \frac{n \times \eta}{0,1p},$$

где  $p$  – среднее удельное давление в  $\text{Н/см}^2$ ;  $\eta$  – вязкость масла в сантиПуазах;  $\text{Н} \cdot \text{с/м}^2$ ,  $n$  – частота вращения в  $\text{мин}^{-1}$ . Коэффициент жидкостного трения, отнесенный к силе нормальной нагрузки, находится в пределах 0,001 ÷ 005.

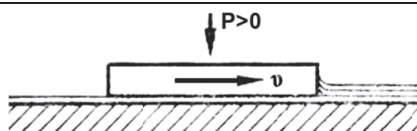


Рис. 4.5. Схема изменения смазочного слоя под нагрузкой

Под нагрузкой  $P$  смазочный слой может истончаться (рис 4.5) и в результате могут изменяться условия смазки. Поэтому различают еще граничное трение, которое возникает в зоне контакта трущихся поверхностей при очень тонком (в смоченном состоянии) слое смазки, при  $\delta \approx 0$ , и не исключает непосредственный контакт поверхностей и явления их износа, (рис. 4.3), и полужидкостное трение – переходное состояние от граничного трения к жидкостному, при  $\delta > 0$ . Коэффициент граничного трения зависит от силы нормальной нагрузки и находится в пределах между 0,02...0,2.

При расчете подшипников и других деталей используется формула

$$\eta = \nu \gamma \cdot 1,02 \cdot 10^{-3} [H \cdot c / m^2],$$

где  $\eta$  – абсолютная вязкость в сантиПуазах,  $H \cdot c / m^2$  (динамический коэффициент);

$\nu$  – кинематическая вязкость (сСт),  $1 \text{ сСт} = 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с} = 10^{-2} \text{ см}^2/\text{с}$ ;

$\gamma$  – удельный вес масла,  $\text{Г}/\text{см}^3$ .

В качестве смазочного материала используют минеральные масла, которые различаются по своим свойствам. Важнейшими свойствами смазочных масел, применяемых для смазки машин, являются вязкость, адгезия и химическая стойкость. Менее важные показатели – температура застывания и температура вспышки масла.

Вязкость характеризует внутреннее трение, т. е. сопротивление относительному смещению молекул жидкости. Чем больше вязкость, тем больше жидкостное трение в смазочном слое, но тем больше и сопротивление вытеснению масла из пространства между поверхностями скольжения, следовательно, тем больше несущая способность смазочного слоя. Поэтому при выборе масла для смазки деталей машины наиболее важным критерием является его вязкость, которая показывает, для какого удельного давления и для какой скорости относительного скольжения деталей машин подходит данное масло.

#### 4.1.5. МОМЕНТЫ ТРЕНИЯ

Моменты трения можно определить по формуле:

$$M_{\text{тр}} = Q \cdot f \cdot k,$$

где  $Q$  – приложенная нагрузка;  $f$  – коэффициент трения;  $k$  – плечо, на котором приложена сила трения.

Моменты трения в подвижных соединениях машин, работающих на сильно меняющихся режимах, определяются по формулам, учитывающим форму и шероховатость поверхностей деталей в зоне контакта, а также наличие смазки с учетом ее количества и вязкости. В расчетах вместо  $f$  (коэффициент трения) используют  $f_{\text{пр}}$  (приведенный коэффициент трения), который учитывает условия работы трущейся пары (форму направляющих, наличие смазки и др.).

Например, для  $V$  – образной направляющей приведенный коэффициент трения равен

$$f_{\text{пр}} = \frac{f}{\sin \alpha},$$

где  $\alpha$  – угол наклона боковой направляющей.

Для колеса тележки с наружным диаметром  $D$  (качение) и с подшипником скольжения на цапфе  $d$  приведенный коэффициент трения будет равен

$$f_{\text{пр}} = \frac{d \cdot f + 2k}{D}.$$

Для подшипника скольжения при достаточном подводе смазки и средних кромочных давлениях момент трения можно определить по формуле:

$$M_{\text{тр}} = \left[ 3,4 \cdot 10^{-11} \frac{d^2}{\Delta} l \cdot n \cdot \eta \right] \frac{d}{2},$$

где  $d$  и  $l$  – диаметр и длина подшипника скольжения в мм;  $\Delta$  – диаметральный зазор в посадке подшипника в мм;  $n$  – частота вращения в  $\text{мин}^{-1}$ ;  $\eta$  – вязкость масла в сантиПуазах.

Для подшипников качения шариковых и цилиндрических роликовых при  $n \geq 1000 \text{ мин}^{-1}$  и умеренной жидкостной смазке разбрызгиванием (при консистентной смазке и смазке в масляной ванне коэффициент при первом слагаемом необходимо увеличить в 1,5 раза)

$$M_{\text{тр}} = (0,005d + 0,01P_n) \frac{d}{2}.$$

Для подшипников качения конических и сферических роликовых при  $n \geq 1000 \text{ мин}^{-1}$  и умеренной жидкостной смазке разбрызгиванием (при консистентной смазке и смазке в масляной ванне коэффициент при первом слагаемом необходимо увеличить в 1,5 раза)

$$M_{\text{тр}} = (0,025d + 0,02P_n) \frac{d}{2},$$

где  $P_n$  – нормальная сила, Н;  $d$  – диаметр вала, мм.

Для зубчатого зацепления момент трения можно определить по формуле:

$$M_{\text{тр}} = \left[ 10^{-4} c \cdot b \sqrt{v \cdot \eta} + P_0 \right] \frac{d_0}{2},$$

где  $P_0$  – окружное усилие в Н;  $d_0, b$  – диаметр начальной окружности и ширина шестерни в мм;  $v$  – окружная скорость в м/сек;  $c$  – коэффициент способа смазки,  $c = 3 \div 6$  при струйной смазке и  $c = 5 \div 10$  при смазке погружением на высоту зуба и доходящий до  $c < 50$  при погружении на большую глубину;  $\eta$  – вязкость масла, Н·с/м<sup>2</sup>.

#### 4.2. СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ

Смазочные материалы подразделяются на *жидкие, консистентные*, т.е. густые (мази), *твердые и газообразные*.

Таблица 4.3

| Наименование<br>и обозначение масла | ГОСТ  | Вязкость, $10^{-6}$ , м <sup>2</sup> /с |               | Температура, °С |               |
|-------------------------------------|-------|---|---------------|-----------------|---------------|
|                                     |       | при<br>50 °С                            | при<br>100 °С | вспы-<br>шки    | затвердевания |
| <i>Жидкие смазочные материалы</i>   |       |   |               |                 |               |
| <i>Индустриальные</i>               |       |   |               |                 |               |
| И-5А                                | 20799 | 4-5                                     |               | 120             | -25           |
| И-8А                                |       | 6-8                                     |               | 130             | -20           |
| И-12А                               |       | 10-14                                   |               | 165             | -30           |
| И-20А                               |       | 17-23                                   |               | 180             | -15           |
| И-25А                               |       | 24-27                                   | –             | 180             | -15           |
| И-30А                               |       | 28-30                                   |               | 190             | -15           |
| И-40А                               |       | 35-45                                   |               | 200             | -15           |
| И-50А                               |       | 47-55                                   |               | 200             | -20           |
| И-70А                               |       | 65-75                                   |               | 200             | -10           |
| И-100А                              |       | 90-118                                  |               | 210             | -10           |
| ИПП-114                             | ТУ    | 110-120                                 | 15            |                 | -15           |
| ИПП-152                             |       | 147-158                                 | 20            |                 | -15           |
| ИПП-182                             |       | 175-190                                 | 23-28         |                 | -8            |
| ИРП-40                              |       | 35-45                                   | 8-10          |                 | -10           |
| ИРП-75                              |       | 72-80                                   | 11-13         |                 | -10           |
| ИРП-150                             |       | 140-160                                 | 18-20         |                 | -10           |
| ИТП-200                             |       | 220-240                                 | -             |                 | -10           |
| ИТП-300                             |       | 304-357                                 | 35-45         |                 | -7            |
| <i>Авиационные</i>                  |       |   |               |                 |               |
| МС-14                               | 21743 | 92                                      | 14            | 200             | -30           |
| МС-20С                              |       | 157                                     | 20            | 250             | -18           |
| МК-22                               |       | 192                                     | 22            | 230             | -14           |
| МС-20                               |       | 192                                     | 20,5          | 200             | -18           |
| <i>Турбинные</i>                    |       |   |               |                 |               |
| T <sub>22</sub>                     | 32    | 22-23                                   |               | 180             | -15           |
| T <sub>30</sub>                     |       | 28-32                                   |               | 180             | -10           |
| T <sub>46</sub>                     |       | 44-48                                   |               | 195             | -10           |
| T <sub>57</sub>                     |       | 55-59                                   |               | 195             | –             |
| <i>Турбинные с присадками</i>       |       |   |               |                 |               |
| T <sub>п22</sub>                    | 9972  | 22-23                                   |               | 186             | -15           |
| T <sub>п30</sub>                    |       | 28-32                                   |               | 190             | -10           |
| T <sub>п46</sub>                    |       | 44-48                                   |               | 195             | -10           |
| П-28 (для прокатных станков)        | 6480  | –                                       | 26-30         | 285             | -10           |
| Трансмиссионное                     | 542   | –                                       | 8             | 200             | -25           |
| <i>Автомобильное</i>                |       |   |               |                 |               |
| Для коробок передач                 | –     |   | 20-32         |                 | -20           |
| Для гипоидных передач               | –     | –                                       | 14            |                 | -25           |
| Цилиндровое 38                      | 6411  |   | 38-44         | 300             | -17           |
| Цилиндровое 52                      | 6411  |   | 44-59         | 310             | -5            |
| <i>Авотракторное</i>                |       |   |               |                 |               |
| АКЗп-6                              | 1862  | –                                       | 6,0           | 160             | -40           |
| АКп-10                              |       | –                                       | 10,0          | 200             | -25           |
| АК-15                               |       | –                                       | 15,0          | 225             | -5            |
| Трансформаторное                    | 982   | 9,6                                     |               | 135             | -45           |

В передачах обычно для смазки поверхностей при высоких скоростях скольжения применяют масла марок И-5А и И-8А, для средних скоростей и средних нагрузках – И-12А и И-20А, а для смазки крупных и тяжелых низкоскоростных станков – И-30А и И-40А.

Рекомендуемые значения кинематической вязкости масел для зубчатых колес

| Материал зубчатых колес                            | $\sigma_b$ , Н/мм <sup>2</sup> | Кинематическая вязкость $\nu_{50} (\nu_{100}), 10^{-6}, \text{м}^2/\text{с}$<br>при окружной скорости, м/с |               |               |               |               |         |       |
|--|--------------------------------|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------|-------|
|  |                                | до 0,5   | 0,5-1         | 1-2,5         | 2,5-5         | 5-12,5        | 12,5-25 | Св.25 |
| Пластмасса, чугун, бронза                          | –                              | 177<br>(20,5)  | 118<br>(11,4) | 81,5          | 59            | 44            | 32,4    | –     |
| Сталь  | До 1000                        | 266<br>(32,4)  | 177<br>(20,5) | 118<br>(11,4) | 81,5          | 59            | 44      | 32,4  |
|  | Св. 1000 до 1250               |  |               | 177<br>(20,5) | 118           | 81,5          | 59      | 44    |
|  | Св. 1250 до 1600               | 444<br>(52)  | 266<br>(32,4) | 266<br>(32,4) | 177<br>(20,5) | 118<br>(11,4) | 81,5    | 59    |
| Сталь цементированная или с поверхностной закалкой | –                              | –  | –             | –             | –             | –             | –       | –     |

*Примечание.*  
Для смазки зубчатых колес из хромоникелевых сталей (нецементованных) при  $\sigma_b > 800 \text{ Н/мм}^2$  следует брать масла, вязкость которых на одну ступень градации выше, чем указано в таблице для данной скорости.

Таблица 4.5

Рекомендуемые значения кинематической вязкости масел для смазки червячных передач и способы смазки

| Характеристики   | Скорость скольжения $v_{ск}$ , м/с |            |                        |            |                        |         |   |
|--|------------------------------------|------------|------------------------|------------|------------------------|---------|---|
|  | до 1                               | 1-2,5      | до 5                   | 5-10       | 10-15                  | 15-25   |   |
| Условия работы   | Тяжелые                            |            |                        | Средние    |                        | –       | – |
| Кинематическая вязкость, $\nu_{50} (\nu_{100})$ , сСт, | 444 (52)                           | 266 (32,4) | 177 (20,5)             | 118 (11,4) | 81,5                   | 59      |   |
| Способ смазки  | Окунанием                          |            | Струйная или окунанием |            | Струйная под давлением |         |   |
|  |                                    |            |                        |            | 0,07 МПа               | 0,2 МПа |   |

Таблица 4.6

Рекомендуемые значения кинематической вязкости масел для цепных передач

| Удельное давление цепи, $p$ , МПа | Способ смазки  |       |         |                       |        |       |
|-----------------------------------|--|-------|---------|-----------------------|--------|-------|
|                                   | ручная и капельная   |       |         | от насоса и картерная |        |       |
|                                   | кинематическая вязкость, $\nu_{50}$ , сСт, для скорости цепи $v$ , м/с |       |         |                       |        |       |
|                                   | До 1   | 1 – 5 | Св. 5   | До 5                  | 5 – 10 | Св 10 |
| До 10                             | 20   | 28-36 | 36-50   | 20                    | 28-36  | 28-36 |
| 10-20                             | 28-36  | 36-50 | 50-65   | 28-36                 | 36-50  | 36-50 |
| 20-30                             | 36-50  | 50-65 | 74-82   | 36-50                 | 50-65  | 50-65 |
| Св. 30                            | 50-65  | 74-82 | 111-133 | 50-65                 | 74-82  | 74-82 |

*Примечание.* Эмпирически получено: для открытых передач  $\nu_{50} = p + 6v$ ; для закрытых передач  $\nu_{50} = p + 3v$ .

Таблица 4.7

Основные эксплуатационные характеристики пластичных смазочных материалов общего назначения и их заменители

| Смазки   | Вязкость, Па·с, при $t$ , °С |                          | Предел прочности, Па, при $t$ , °С |            | Температурный предел, °С, | Заменитель       |
|--|------------------------------|--------------------------|------------------------------------|------------|---------------------------|------------------|
|  | –15                          | 0                        | 50                                 | 80         |                           |                  |
| <i>Общего назначения для нормальных температур (гидратированные кальциевые солидолы)</i> |                              |                          |                                    |            |                           |                  |
| Солидолы синтетические:  |                              |                          |                                    |            |                           |                  |
| пресс-солидол С  | 250–600                      | $\leq 100$               | $\geq 100$                         | –          | –40...50                  | Солидол УС-1     |
| солидол С  | 300–1000<br>(при 15 °С)      | $\leq 200$<br>(при 0 °С) | $\geq 200$                         | –          | –30...70                  | Солидол УС-2     |
| Солидолы жировые:  |                              |                          |                                    |            |                           |                  |
| пресс-солидол УС-1   | 150–350<br>(при 15 °С)       | $\leq 100$<br>(при 0 °С) | $\geq 100$                         | –          | –40...50                  | Пресс-солидол С  |
| солидол УС-2   | 300–600<br>(при 15 °С)       | $\leq 250$<br>(при 0 °С) | $\geq 200$                         | –          | –30...70                  | Солидол С        |
| <i>Общего назначения для повышенных температур (натриевые и натриево-кальциевые)</i>     |                              |                          |                                    |            |                           |                  |
| Констаины жировые:   |                              |                          |                                    |            |                           |                  |
| констаин УТ-1  | 800–1200<br>(при 15 °С)      | 250–500<br>(при 0 °С)    | 300–600                            | 150–300    | –20...120                 | Автомобильная    |
| констаин УТ-2  | 800–1500<br>(при 15 °С)      | 250–500<br>(при 0 °С)    | 1600                               | 800        | –20...120                 | Автомобильная    |
| Автомобильная  | 500–700<br>(при 15 °С)       | 200<br>(при 0 °С)        | $\geq 180$                         | 100–250    | –20...100                 | Констаин УТ-1    |
| <i>Общего назначения для повышенных температур (литиевые)</i>                            |                              |                          |                                    |            |                           |                  |
| ВНИИ НП-242  | 400–1000                     | $\leq 500$               | 450–650                            | $\geq 100$ | –40...110                 | Литол-24, ЭШ-176 |

|   |                              |                          |                            |                      |           |                                      |
|---|------------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------|-----------|--------------------------------------|
| ЭШ-176                                  | 1200–1700<br>(при 15 °С)     | 500–800<br>(при 0 °С)    | ≥250                       | 150–400              | –25...110 | Литол-24,<br>ВНИИ НП-242             |
| Смазка жировая 1-13                     |                              |                          |                            |                      | –20...110 | ЭШ-176                               |
| <i>Многоцелевые</i>                     |                              |                          |                            |                      |           |                                      |
| Литол-24                                | 800–1500<br>(при 30 °С)      | 80–120 (при 20°С)        | 400–600                    | ≥150                 | –40...130 | Фиол-3                               |
| Фиол-1                                  | 230–600<br>(при - 20 °С)     | 50–100 (при 20 °С)       | 200–250                    | ≥100                 | –40...120 | Фиол-2, Литол-24                     |
| Фиол-2                                  | 400–800<br>(при - 20 °С)     | 80–120 (при 20 °С)       | 200–250                    | ≥120                 | –40...120 | Фиол-3, Литол-24                     |
| Фиол-3                                  | 800–1500<br>(при -30 °С)     | 100–150 (при 20 °С)      | 400–600                    | ≥200                 | –40...130 | Литол-24, Фиол-2                     |
| Фиол-2м                                 | 420–800<br>(при - 20 °С)     | 80–120 (при 20 °С)       | 300–450                    | ≥100                 | –40...120 | Литол-24<br>(с 2% MoS <sub>2</sub> ) |
| <i>Высокотемпературные</i>              |                              |                          |                            |                      |           |                                      |
| Унитол-1                                | 1000–2000<br>(– 30 °С)       | 15–30<br>(при 80 °С)     | 250–600                    | 150–400              | –30...150 | Литол-24                             |
| ЦИАТИМ-221                              | ≤ 800<br>(при – 50 °С)       | 10–30<br>(при 80 °С)     | ≥ 120                      | 100–150              | –60...160 | ВНИИ НП-207                          |
| ВНИИ НП-257                             | 200<br>(при – 50 °С)         | 29<br>(при 20 °С)        | 80–100<br>(при 20 °С)      | ≥ 80<br>(при 50 °С)  | –60...150 | ВНИИ НП-274                          |
| ВНИИ НП-274                             | 290<br>(при – 50 °С)         | 30–60<br>(при 20 °С)     | 200–350<br>(при 20 °С)     | ≥100<br>(при 50 °С)  | –80...130 | ВНИИ НП-257                          |
| <i>Гироскопические</i>                  |                              |                          |                            |                      |           |                                      |
| ВНИИ НП-228                             | 3000<br>(при 250 °С)         | 15–25<br>(при 20 °С)     | 50–150<br>(при 20 °С)      | 50–150 (при 50 °С)   | –45...150 | –                                    |
| ВНИИ НП-260                             | 4000<br>(при - 30 °С)        | 20–40<br>(при 20 °С)     | 110–170<br>(при 20 °С)     | 50–180 (при 50 °С)   | –20...180 | –                                    |
| <i>Индустриальные</i>                   |                              |                          |                            |                      |           |                                      |
| Сиол                                    | 200<br>(при – 20 °С)         | –                        | 140–180                    | –                    | –30...130 | ЦИАТИМ-20                            |
| <i>Железнодорожные</i>                  |                              |                          |                            |                      |           |                                      |
| Железнодорожная ЛЗ-ЦНИИ                 | 1100<br>(при –30°С)          | 10–20<br>(при 80 °С)     | ≥ 200                      | 200–300              | –40...110 | ЖРО                                  |
| Для роликовых подшипников ЖРО           | ≤ 2000<br>(при – 30 °С)      | 60–80 (при 80 °С)        | ≥ 300                      | 150–250              | –50...120 | Литол-24                             |
| <i>Специализированные автомобильные</i> |                              |                          |                            |                      |           |                                      |
| ЛЗ-31                                   | 500<br>(при –15 °С)          | 75<br>(при 80 °С)        | 300–400                    | 250–350              | –40...130 | –                                    |
| № 158                                   | 1000<br>(при – 15°С)         | 30<br>(при 80 °С)        | >120                       | 50–100               | –30...100 | Литол-24                             |
| ВНИИ НП-207                             | ≤ 1400<br>(при –30 °С)       | 55<br>(при 50 °С)        | 200–250                    | 70–110               | –60...180 | ЦИАТИМ-221                           |
| ВНИИ НП-231                             | ≤ 550<br>(при –40 °С)        | 10–50<br>(при -15°С)     | 250–400                    | >100                 | –60...250 | –                                    |
| ВНИИ НП-246                             | ≤ 500<br>(при –40 °С)        | 95<br>(при 50 °С)        | 250–500                    | 70–250               | –60...200 | –                                    |
| ПФМС-4С                                 | 1000 - 1500                  | 10-30<br>(при 80 °С)     | 100–150                    | 80–150               | –30...300 | ВНИИ НП-231                          |
| Графитол                                | 250–600<br>(при - 0 °С)      | 35<br>(при 80 °С)        | 200–500                    | 200–600              | –15...160 | –                                    |
| Силикон                                 | ≤ 550<br>(при – 0 °С)        | 67,5<br>(при 80 °С)      | ≥ 500                      | 300-500              | –40...160 | –                                    |
| <i>Низкотемпературные</i>               |                              |                          |                            |                      |           |                                      |
| ЦИАТИМ-201                              | 2500 – 3500<br>(при – 60 °С) | 80 – 170<br>(при –0 °С)  | 250–500                    | 130-250              | –60...90  | ЦИАТИМ-203                           |
| ЦИАТИМ-203                              | 2000 – 4000<br>(при – 60 °С) | 100 – 300<br>(при –0 °С) | ≥ 250                      | 150–300              | –50...100 | ЦИАТИМ-201                           |
| МС-70, АМС-1, АМС-3                     | 2500 – 5000                  | ≤ 230                    | 100–300                    | ≤ 50                 | –50...65  | ЦИАТИМ-201                           |
| <i>Для электромеханических приборов</i> |                              |                          |                            |                      |           |                                      |
| ОКБ-122-7                               | ≤ 1800<br>(при 30 °С)        | 190<br>(при 20 °С)       | 1000 – 1500<br>(при 20 °С) | ≥ 150<br>(при 50 °С) | –40...120 | ЦИАТИМ-202<br>ЦИАТИМ-201             |
| ЦИАТИМ-202                              | ≤ 1500<br>(при - 30 °С)      | 50 - 80<br>(при 20 °С)   | 200 – 300<br>(при 20 °С)   | ≥ 120<br>(при 50 °С) | –40...120 | ОКБ-122-7                            |



#### 4.2.1. СВОЙСТВА ЖИДКИХ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В качестве смазочного материала используют минеральные масла, консистентные и твердые смазки, которые различаются по своим свойствам.

Важнейшими свойствами масел, применяемых для смазки машин, являются вязкость, адгезия и химическая стойкость. Менее важные показатели – температура застывания и температура вспышки масла.

*Вязкость* – индивидуальное качество жидких масел, определяющее их смазывающую способность в условиях жидкостного трения; характеризует внутреннее трение, т. е. сопротивление относительному смещению молекул жидкости. Чем больше вязкость, тем больше жидкостное трение в смазочном слое, но тем больше и сопротивление вытеснению масла из пространства между поверхностями скольжения, следовательно, больше несущая способность смазочного слоя.

Поэтому при выборе масла для смазки деталей машины наиболее важным критерием является его вязкость, которая показывает, по каким параметрам (удельному давлению, температуре и скорости относительного скольжения деталей машин) подходит данное масло.

*Маслянистость (смачиваемость, липкость)* – важнейшее свойство жидких масел при отсутствии жидкостного трения, способность смазочного материала к адсорбции, т. е. образованию и удержанию тонких пленок масла на поверхностях трения сопряженных деталей машин. Маслянистость зависит от свойств не только масла, но и от свойств цапфы вала и вкладышей подшипника.

*Температура вспышки* – температура, при которой пары масла образуют с окружающим воздухом смесь, воспламеняющуюся при поднесении к ней огня. Температура вспышки характеризует испаряемость и огнеопасность масла. При одинаковой вязкости лучшим является то масло, которое имеет более высокую *температуру воспламенения*, т. е. температуру, при которой не только вспыхивают масляные пары, но и загорается само масло.

*Температура застывания* масла характеризует потерю его подвижности при низкой температуре, т. е. когда масло после наклонения стандартной пробирки под углом 45° остается неподвижным в течение 1 мин.

#### 4.2.2. ДИНАМИЧЕСКАЯ И КИНЕМАТИЧЕСКАЯ ВЯЗКОСТЬ

Прежде вязкость указывали в градусах Энглера (°Е). Вязкость по Энглеру измерялась условным методом, который не может быть использован в расчетах, т.к. не дает точного представления о величине внутреннего сопротивления жидкости.

Поэтому большее значение придается вязкости, указываемой в абсолютных единицах. Для этого введено понятие *кинематической* вязкости (удельный коэффициент внутреннего трения), которое представляет собой отношение динамической вязкости жидкости к ее плотности при одной и той же температуре. Единицей измерения кинематической вязкости принят Стокс (Ст), сотую часть которого называют сантиСтоксом (сСт). Размерность - см<sup>2</sup>/с или 10<sup>-6</sup> м<sup>2</sup>/с.

Перевод градусов Энглера, °Е, в значения коэффициента кинематической вязкости, м<sup>2</sup>/с приведен в табл. 4.8.

Таблица 4.8

| Перевод градусов Энглера, °Е, в значения коэффициента кинематической вязкости, м <sup>2</sup> /с |                                    |     |                                    |      |                                    |
|--|------------------------------------|-----|------------------------------------|------|------------------------------------|
| °Е   | 10 <sup>-6</sup> м <sup>2</sup> /с | °Е  | 10 <sup>-6</sup> м <sup>2</sup> /с | °Е   | 10 <sup>-6</sup> м <sup>2</sup> /с |
| 1,00   | 1,0                                | 2,4 | 15,7                               | 4,4  | 32,5                               |
| 1,1  | 1,8                                | 2,5 | 16,5                               | 4,6  | 34,1                               |
| 1,2  | 2,8                                | 2,6 | 17,5                               | 4,8  | 35,7                               |
| 1,3  | 3,9                                | 2,7 | 18,4                               | 5,0  | 37,3                               |
| 1,4  | 5,0                                | 2,8 | 19,3                               | 5,5  | 41,2                               |
| 1,5  | 6,25                               | 2,9 | 20,2                               | 6,0  | 45,1                               |
| 1,6  | 7,45                               | 3,0 | 21,1                               | 6,5  | 49,0                               |
| 1,7  | 8,5                                | 3,2 | 22,8                               | 7,0  | 52,9                               |
| 1,8  | 9,6                                | 3,4 | 24,5                               | 7,5  | 56,8                               |
| 1,9  | 10,7                               | 3,6 | 26,1                               | 8,0  | 60,6                               |
| 2,0  | 11,8                               | 3,8 | 27,7                               | 8,5  | 64,5                               |
| 2,1  | 12,8                               | 4,0 | 29,3                               | 9,0  | 68,4                               |
| 2,2  | 13,8                               | 4,2 | 30,9                               | 10,0 | 76,0                               |
| 2,3  | 14,8                               |     |                                    |      |                                    |

*Динамическая вязкость* (коэффициент внутреннего трения) характеризуется силой, затрачиваемой на перемещение верхнего слоя жидкости относительно нижнего со скоростью 1 см/с, при площади 1см<sup>2</sup> и расстоянии между ними 1 см.

Единицей измерения абсолютной (*динамической*) вязкости принят Пуаз (П), сотую часть которого называют сантиПуазом (сП). Размерность – Н·с/м<sup>2</sup> или (Па·с), где Па – Паскаль.

Для перехода к абсолютной (*динамической*) вязкости от кинематической вязкости при расчете подшипников и других деталей используется формула

$$\mu = 10^{-3} \nu \gamma,$$

где  $\mu$  – абсолютная вязкость в сантиПуазах, Н·с/м<sup>2</sup> (динамический коэффициент);

$\nu$  – кинематическая вязкость (сСт), 1 сСт = 10<sup>-6</sup> м<sup>2</sup>/с = 10<sup>-2</sup> см<sup>2</sup>/с.

$\gamma$  – плотность масла, Г/см<sup>3</sup>.

Для практических целей пользуются коэффициентом кинематической вязкости  $\nu = 10^3 \mu / \gamma$ .

**Вязкость масла при повышении температуры.** Вязкость минеральных масел уменьшается с повышением температуры и наоборот (табл.4.7). Для нормальной эксплуатации механизмов, работающих в широком диапазоне температур, требуется, чтобы вязкость применяемого масла незначительно изменялась с температурой, сохраняя свои смазочные свойства на всем диапазоне температурного перепада.

Зависимость кинематической вязкости от температуры для промышленных и турбинных масел представлена формулой, которая дает достаточно точные результаты в интервале температур от 50 до 100°С:

$$\nu_t = \nu_{50} \left( \frac{50}{t} \right)^m,$$

где  $t$  – рабочая температура масла, °С;

$m$  – показатель степени, зависящий от сорта масла; средние значения его в зависимости от кинематической вязкости (сСт) приведены в табл. 4.9.

Таблица 4.9

| Значения показателя степени $m$ |     |     |     |     |     |     |             |
|---------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------------|
| При $\nu_{50}$                  | 20  | 30  | 40  | 50  | 70  | 90  | 120 и более |
| $m$                             | 1,9 | 2,5 | 2,6 | 2,7 | 2,8 | 2,9 | 3,0         |

**Вязкость масла при повышении давления.** Вязкость масла интенсивно возрастает с повышением давления. Это свойство имеет особое значение для тяжело нагруженных подшипников ввиду необходимости создания в данном случае прочного слоя смазки в зоне контакта поверхностей. При диапазоне температур 20–100 °С повышение вязкости минеральных масел в зависимости от давления относительно вязкости при нормальном давлении характеризуется величинами, приведенными в табл. 4.10.

Таблица 4.10

| Влияние давления на изменение вязкости минеральных масел           |       |       |       |         |         |
|--|-------|-------|-------|---------|---------|
| Приложенное давление, МПа  | 700   | 1500  | 2000  | 4000    | 6000    |
| Повышение вязкости, % от исходной вязкости при нормальном давлении | 20–25 | 35–40 | 50–60 | 250–350 | 120–160 |

При высоких давлениях вязкость масел возрастает настолько, что они теряют жидкотекучесть и превращаются в пластическую массу.

#### 4.2.3. МЕТОДИКА ВЫБОРА ЖИДКИХ МИНЕРАЛЬНЫХ МАСЕЛ

Жидкое минеральное масло является основным смазочным материалом. Для выбора марки масла для передачи требуется сначала установить необходимую вязкость масла: для зубчатой передачи по табл. 4.4, для червячной передачи по табл. 4.5, для цепной передачи по табл. 4.6, для подшипников качения по номограмме (рис. 4.6).

Затем по табл. 4.3 выбирают марку масла, соответствующую установленной вязкости масла для соединения.

Для многоступенчатого редуктора марку масла выбирают по среднему значению вязкости, от значений, определенных для первой и последней ступени.

Для повышения стойкости зубьев передач против заедания желательнее применять масла более высокой вязкости. Однако это связано с заметным увеличением потерь на перемешивание масла. Поэтому вязкость масла выбирают в зависимости от окружной скорости, нагрузки и материала зубьев. Чем больше нагрузка и меньше скорость, тем выше должна быть вязкость масла. Ориентировочно необходимая вязкость ( $\text{мм}^2/\text{с}$ ) смазочного материала может быть подобрана по эмпирической формуле

$$\nu_{50} \approx \nu_1 \sqrt{D},$$

где  $\nu_{50}$  – рекомендуемая кинематическая вязкость смазки при температуре 50 °С и заданной средней окружной скорости  $v$  или скорости скольжения передачи  $v$ , м/с.

Рекомендуемая вязкость  $\nu_1$  при  $v = 1$  м/с приведена в табл. 4.11.

Таблица 4.11

| Рекомендуемая вязкость $\nu_1$ , $\text{мм}^2/\text{с}$ , при $v = 1$ м/с |   |
|---|---|
| Вязкость, $\nu_1$ , $\text{мм}^2/\text{с}$                                | Вид передачи  |
| 120... 130  | Стальные зубчатые передачи по чугуну, бронзе или пластмассе   |
| 170... 180  | Стальные передачи ( $\sigma_B \approx 600 \dots 800$ МПа) с зубьями без термообработки  |
| 260...280   | Высокопрочные зубчатые передачи ( $\sigma_B \geq 1000$ МПа) с термически обработанной поверхностью зубьев (закалка, цементация, азотирование) |
| 300...340   | Червячные передачи (большее значение для тяжелых условий работы)  |

Наиболее часто используют средние индустриальные масла с вязкостью  $\nu_{50} = 30 \dots 60 \text{ мм}^2/\text{с}$ . Для легких особо быстроходных передач в целях уменьшения потерь на разбрызгивание применяют менее вязкие индустриальные масла с  $\nu_{50} = 15 \dots 20 \text{ мм}^2/\text{с}$  и ниже.

Наоборот, для тяжелых тихоходных редукторов ( $v < 5$  м/с), как правило, применяют тяжелые индустриальные масла с  $\nu_{50} = 10 \dots 30 \text{ мм}^2/\text{с}$ .

Особое внимание должно быть уделено выбору смазочного материала для червячных передач, условия работы которых характеризуются наличием высоких значений трения и скорости скольжения, оказывающих отрицательное действие на работоспособность передачи. Поэтому для повышения сопротивления заеданию зубьев червячного колеса, их интенсивному износу и улучшенному отводу теплоты применяют более вязкие масла.

**Выбор вязкости масел по номограмме для подшипников качения с независимой системой смазки.** На примере (рис. 4.6) дана схема пользования номограммой для выбора вязкости масел для подшипников качения.

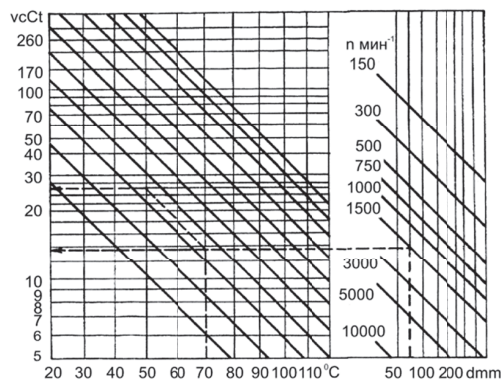


Рис. 4.6. Номограмма для выбора вязкости масел для подшипников качения

Например, при  $d = 75$  мм и частоте вращения  $n = 1500$  мин<sup>-1</sup> минимальная вязкость масла в рабочем состоянии должна быть 13,2 сСт (или  $10^6$  м<sup>2</sup>/с) (горизонтальная пунктирная прямая линия). Для выбора смазки удобнее пользоваться вязкостью  $v_{50}$  ( $v_{100}$ ), сСт, при стандартной температуре (50 или 100 °С). Так, для рассматриваемого подшипника, если рабочая температура 70 °С, соединяем ординату с горизонтальной пунктирной прямой линией, затем наклонно выводим на уровень 50 °С и после такого приведения по горизонтали определяем, что вязкость масла должна быть равна 27 сСт при 50 °С (ломаная пунктирная линия).

В редукторах, коробках передач и др. механизмах, содержащих механические передачи, подшипники качения обычно смазываются тем же маслом, что и передача.

Для подшипников качения, если смазка выбирается из условий работы подшипника качения, то рекомендуют назначать вязкость  $(10 \div 30)10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с при рабочей температуре. Большие значения вязкости принимают для высоконагруженных подшипников со сравнительно низкой окружной скоростью, в том числе для роликовых подшипников.

#### 4.2.4. ХАРАКТЕРИСТИКИ ЖИДКИХ СМАЗОЧНЫХ МАСЕЛ

Жидкие масла равномерно распределяются по трущимся поверхностям, обладают малым внутренним трением, хорошо работают в значительных диапазонах температур и поэтому являются основными смазочными материалами подшипников скольжения.

Наиболее распространены *минеральные масла* – продукты переработки нефти.

Характеристики жидких смазочных масел, применяемых в машиностроении, приведены в табл. 4.3.

*Растительные масла* в чистом виде почти не применяют вследствие их склонности к высыханию с образованием прочных пленок и разложению с выделением свободных органических кислот, вызывающих коррозию. Они также дают увеличенное по сравнению с минеральными маслами отложение нагара и лака.

Обладающее хорошей маслянистостью или липкостью касторовое, сурепное, хлопковое, подсолнечное, оливковое и другие масла применяют для получения компаундированных масел, т. е. их добавляют к нефтяным маслам для улучшения маслянистости последних.

*Животные жиры* и масла в чистом виде применяют также крайне редко. Говяжье, баранье и свиное сало, тюлений, китовый и рыбий жир, костное и спермацетовое масло, которые в качестве смазки хорошо прилипают и удерживаются на металлических поверхностях, используют для получения компаундированных масел.

Костное масло очень хорошо удерживается на смазываемых поверхностях и не высыхает в течение нескольких лет. Это масло не образует твердой пленки. Поэтому его применяют в чистом виде и в качестве составной части при изготовлении высококачественных приборных масел, употребляемых для смазки часовых механизмов, контрольно-измерительных и других точных приборов.

*Силиконы* (полисилоксаны) представляют собой кремнийорганические соединения, состоящие из кремния, кислорода и остатков углеводородов после отщепления от их молекул одного или нескольких атомов водорода. Силиконовые жидкости можно применять в качестве смазочных масел, гидравлических и амортизирующих жидкостей. Смазывающую способность силиконов улучшают за счет добавления специальных присадок.

Силиконовые жидкости устойчивы против высокой температуры, мало испаряются и достаточно хорошо подвижны при низких температурах. При небольших и средних нагрузках они могут хорошо работать в интервале температур от  $-70$  до  $+300$  °С и выше, а в течение короткого времени могут противостоять действию температуры до 535 °С. У силиконовых жидкостей вязкость изменяется мало с изменением температуры. Так, при понижении температуры некоторые из силиконов имеют вязкость, в 50 раз меньшую, чем органические нефтяные масла, имеющие аналогичную температуру кипения.

*Полиалкиленгликоли* в чистом виде и в смеси с минеральными маслами и присадками применяют при высоких температурах (турбореактивные двигатели, двигатели внутреннего сгорания, компрессоры) и в различных машинах и зубчатых передачах с большими нагрузками. В чистом виде или в виде водных растворов их используют как негорючие гидравлические жидкости в гидросистемах машин.

#### 4.2.5. СВОЙСТВА КОНСИСТЕНТНЫХ СМАЗОК

Для повышения эксплуатационных показателей в минеральные масла вводят различные присадки (растительные и животные масла, олеиновую кислоту, серу и др.).

Различают смазки среднеплавкие и тугоплавкие.

*Среднеплавкие смазки* – солидолы жирные и синтетические, получаемые при загущении жидких минеральных масел кальциевыми мылами. Их широко применяют при рабочей температуре до 50...60 °С в станках, в специальных транспортных машинах и оборудовании, работающем под открытым небом. Эти смазки не растворяются в воде.

*Тугоплавкие смазки (консталины)* – жирные и синтетические, получаемые при загущении жидких минеральных масел натриевыми мылами. Их применяют при рабочей температуре не выше 115... 135 °С; они очень чувствительны к влаге.

К этим смазкам относятся также специальные комбинированные кальциево-натриевые смазки с рабочей температурой до 100 °С, такие смазки водоустойчивы.

При выборе таких смазок необходимо учитывать не только выявленные качественные характеристики их, но и состав смазки.

Для эксплуатации важны в первую очередь следующие качественные характеристики консистентных смазок.

*Температура каплепадения*, которая указывает, при какой температуре смазка становится текучей и начинает капать через отверстие испытательного прибора. В эксплуатации консистентная смазка начинает течь уже при более низкой температуре под влиянием механической нагрузки и изменения консистенции; последнее вызывается повышением температуры. Поэтому для консистентных смазок допускают рабочую температуру не более чем на 20 °С ниже температуры каплепадения. Чем выше температура каплепадения, тем работоспособнее смазка при высоких температурах.

Консистентные смазочные материалы применяются при температуре подшипника менее 90...100 °С.

*Пенетрация* – это мера консистенции или «жесткости» смазки. Чем выше пенетрация, тем смазка мягче, и наоборот. Пенетрация характеризует сопротивление, оказываемое смазкой выдавливанию из подшипника и при проталкивании через смазочное отверстие. Для практических целей диапазон пенетрации консистентных смазок подразделяется на *степени консистенции*: 00 (полужидкая консистенция), 0 (очень мягкая), 1 (мягкая) и т. д. до 7 (твердая консистенция).

*Химическая стойкость*, которая означает стойкость смазки против старения, т. е. против ее химического превращения в течение срока хранения и эксплуатации. Химическая стойкость имеет большое значение для смазки подшипников качения, в которых консистентная смазка остается в течение долгого времени. Для определения степени химической стойкости смазки пока еще нет достаточно удовлетворительного метода испытания. Известно только, что химическая стойкость смазки обусловлена ее составом и что из применяемых консистентных смазок в основном наиболее химически стойки смазки литиевые и натриевые, далее следуют алюминиевые и на последнем месте кальциевые.

*Влагостойкость* важна тогда, когда мазь должна не только смазывать, но и защищать подшипник от проникновения влаги. Из указанных смазок лучшей влагостойкостью обладают кальциевые, далее следуют литиевые, алюминиевые, натриевые смазки образуют с водой эмульсии.

Следует отметить, что *консистентные смазочные материалы* хорошо герметизируют подшипники и допускают в подшипниках большое давление; по сравнению с жидкими маслами. Консистентные смазочные материалы применяют для смазки подшипников в высокооборотных шпинделях шлифовальных станков, в ткацких станках, в электродвигателях, в железнодорожном транспорте и т. п., которые требуют надежной герметизации, или механизмов в машинах, работающих в широком диапазоне температур и режимов эксплуатации.

Основные эксплуатационные характеристики пластичных смазочных материалов приведены в табл. 4.7.

#### 4.2.6. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПЛАСТИЧНЫХ СМАЗОК

Пластичные смазки находят применение для смазки подшипников и других подвижных соединений:

- кальциевые смазки (солидолы) имеют температуру плавления  $t = 75...85$  °С, водоупорны, нерастворимы в воде, их рабочая температура  $t < 50-60$  °С;
- натриевые смазки (консталины) более тугоплавки, их можно применять при температуре до 125 °С, после раскисания и последующего охлаждения они не теряют своих свойств; чувствительны к влаге, поэтому не рекомендуются при повышенной влажности окружающей среды;
- натриево-кальциевые смазки обладают промежуточными свойствами между кальциевыми и натриевыми смазками. Эту смазку часто применяют для шарикоподшипников качения при  $t = 80...100$  °С;
- литиевые смазки водоупорны, выдерживают высокую температуру;
- смазку ЦИАТИМ-201 применяют при  $t = -80...+90$  °С для смазки приборов и механизмов, работающих при малых усилиях сдвига;
- смазку ЦИАТИМ-202 применяют для высокоскоростных подшипников при  $t = -50...+100$  °С для тех же целей, что и ЦИАТИМ-201;
- смазку ЦИАТИМ-203 применяют при  $t = -45...+100$  °С для высоконагруженных механизмов;
- смазка ЦИАТИМ-221 имеет высокую химическую стабильность, вызывает меньшее набухание резины (в уплотнениях), чем другие смазки; выдерживают  $t = -60...+150$  °С;
- смазку ЦИАТИМ-221С применяют при  $t = -60...+200$  °С;
- смазка НК-50 (натриевая) содержит коллоидальный графит, ее можно применять при  $t \leq 180$  °С;
- смазку ОКБ 122-7 применяют при  $t = -60...+120$  °С. Коричневая мазь, изготовленная из смеси этилсиликоновой жидкости и масла МС-14, загущенной церезином и литиевым мылом стеариновой кислоты, обладает вполне удовлетворительной водостойкостью, защитными свойствами, коллоидной и химической стабильностью. Используется для периодической смазки для электромеханических приборов и механизмов, причем интервал между сменой смазки может достигать 10 лет. Имеет хорошие консервационные свойства;
- смазку ЛЗ-31 применяют в подшипниках закрытого типа при  $t = -50...+130$  °С;
- алюминиевые смазки водоупорные АМС-1, АМС-3 и МС-70 применяют в узлах, куда может попадать морская вода;
- смазку ВНИИ НП-225 применяют главным образом для уплотнения резьбовых соединений, при температурах от -60 до 250 °С;
- смазку ВНИИ НП-228 и ВНИИ НП-260 применяют главным образом для смазки подшипников роторов гироскопов. Работоспособны при частоте вращения до 60 000 мин<sup>-1</sup>. Мягкая светло-коричневая мазь, состоящая из смеси диоктилсебадината и масла МС-14, загущенного комплексным натриевым мылом стеариновой кислоты и нитрата



натрия, отличается высокой степенью очистки. Смазка ВНИИ НП-260 имеет более высокий ресурс работы в диапазоне температур  $t = -50 \dots +180$  °С;

- смазку ВНИИ НП-242 с противозносной присадкой дисульфида молибдена применяют при  $t = -35 \dots +110$  °С;
- смазку ВНИИ НП-257 применяют в основном для смазки шарикоподшипников и малонагруженных зубчатых передач;
- смазку ВНИИ НП-279 применяют для смазки узлов трения, работающих в контакте с агрессивными средами;
- смазку ВНИИ НП-401 применяют для обеспечения равномерного без скачков и колебательных перемещений подвижных узлов металлорежущих станков, чем обеспечивают получение высокой чистоты и точности обработки.

Специальные антискачковые масла рекомендуют применять для смазки направляющих скольжения продольно-фрезерных, расточных и координатно-расточных станков, а также оснований колонн расточных станков, направляющих бабок и столов плоско- и круглошлифовальных станков. Эти масла применяют также для смазки пар винт-гайка, например в координатно-расточных станках, где требуется исключительная точность при малых установочных перемещениях. Не рекомендуется применять такие масла в станках, имеющих высокие скорости скольжения направляющих, так как равномерность движений при высоких скоростях достигается и при использовании масел обычных сортов.

#### 4.2.7. ТВЕРДЫЕ СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИХ СВОЙСТВА

Графит, тальк, слюда и некоторые другие – применяют для смазки подшипников скольжения, работающих при высоких температурах рабочей среды (например, в транспортерах, вагонетках различных печей).

Графит, слюда также применяются в подшипниках и механизмах, предназначенных для переработки продуктов питания и в машинах для текстильного производства.

Смазки на основе дисульфид молибдена  $\text{MoS}_2$  (дисульфид молибдена) относятся к смазочным материалам, широко применяемым в качестве сухой смазки. На трущиеся поверхности его наносят путем опрыскивания, втирания и вдавливания в виде паст или суспензий, приготовленных на основе минеральных и синтетических масел.

Дисульфид молибден – порошок, имеющий пластинчатую структуру, сходную с графитом. Скольжение мелких пластинок относительно друг друга обуславливает хорошие смазочные свойства этого материала. Вдавливаясь в поверхностный слой трущихся металлов, он образует твердую пленку, которая служит в дальнейшем в качестве сухой смазки. Поверхность детали перед нанесением смазки должна быть сухой, тщательно очищенной и обезжиренной.

Высокие температуры (до 400°С) не оказывают на дисульфид молибден заметного влияния, и его смазочные свойства сохраняются, примерно, до 525°С. Дисульфид молибден успешно применяют в узлах с высоким удельным давлением (до 860 МПа), большими усилиями трения и для смазки поверхностей, на которых возможен большой износ и задиры.

Смазка ВНИИ НП-225/2 – суспензия, приготовляемая на основе силиконовой жидкости. Ее добавляют (до 10%) к общему объему масла. Смазка ВНИИ НП-232 – паста, основой которой является минеральное масло, содержит  $\text{MoS}_2$  и графит.

#### 4.2.8. ВОЗДУШНАЯ СМАЗКА (МАСЛЯНЫЙ ТУМАН)

Распыленное масло в насыщенной воздушной среде применяют для пневматических цилиндров, в подшипниках скольжения и качения быстроходных и малонагруженных валов. Достоинство воздушной смазки – небольшие потери мощности в подшипниках на трение и теплообразование, так как вязкость воздуха очень низкая.

Сжатый воздух, прошедший фильтр-влагоотделитель и регулятор давления, под давлением  $10 \div 15$  Н/см<sup>2</sup> поступает в маслораспылитель для смазки рабочей пары.

#### 4.2.9. ВОДА

Вода применяется для смазки подшипников из пластмасс, дерева и резины.

#### 4.2.10. ЗАМЕНА СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Жидкие масла, применяемые для смазки оборудования, могут заменяться маслами, имеющими вязкость, равную или несколько большую, чем вязкость заменяемых масел. Для легких промышленных масел эта разница должна быть не более 6-7 сСт от верхнего предела вязкости, для средних – до 12 сСт. Несколько увеличенная разница допустима для более тяжелых масел.

Использовать в качестве заменителя масло с меньшей вязкостью не следует, так как это приводит к выдавливанию его из зазора между трущимися деталями, их сильному износу, нагреванию и задирам. Заменители с большим превышением вязкости применять также не следует, так как в результате может быть нагревание масла и смазываемых узлов машин, что вызывает большие потери энергии.

Иногда специфические условия работы механизмов не позволяют сделать такие замены. Так, для смазки турбин нельзя масло турбинное 22 заменить промышленным 20. Трансформаторное масло также нельзя заменить маслом, равноценным по вязкости, так как заменитель не имеет необходимых изоляционных свойств. В циркуляционных и гидравлических системах замена хорошо очищенных масел выщелоченными приводит к закупориванию маслопроводов смолистыми осадками.

Смешивают масла в тех случаях, когда из имеющихся в наличии нет заменителей, равноценных или близких по вязкости. Тогда заменитель получают смешением двух или трех масел в определенном процентном соотношении, близких по способу и степени очистки. Смешивают масла, имеющие одинаковую температуру.

Смешением на практике готовят различные сорта масел. Смешение применяют и с целью улучшения отдельных свойств масел. Для понижения вязкости масел, работающих в зимних условиях, их разбавляют другим: маслом, имеющим более низкую температуру застывания (И-12А, трансформаторным). Керосином разбавляют масла с целью снижения температуры застывания не следует, так как он сильно ухудшает смазочные свойства и индекс вязкости, а также снижает температуру вспышки.

Консистентные смазки заменяют главным образом по их температуре каплепадения. Заменитель должен иметь температуру каплепадения, равную или несколько выше. В случае применения смазки с пониженной температурой каплепадения возможно вытекание ее из узлов трения, что приведет к нагреву и задирам трущихся пар.

Заменяемые смазки должны иметь одинаковое основание, например, кальциевое или натриевое, что особенно важно для работы механизмов в условиях повышенной влажности, где могут применяться только смазки кальциевого основания (солидолы) или смешанного кальциево-натриевого основания. Рекомендуемая замена смазок дана в таблице 4.7.

Если необходимо заменить отечественную марку смазочного материала импортным аналогом, то информация об этом может быть получена в Интернете, но затем методом сравнения параметров отечественных и импортных масел необходимо выбрать ту марку масла аналога, которая по своим свойствам ближе к условиям работы механизма.

#### 4.2.11. ПРИСАДКИ К МАСЛАМ

Для улучшения свойств масел и их эксплуатационных качеств широко применяют специальные добавки к ним – присадки. Выбор присадки зависит от типа масла, степени его очистки, назначения и эксплуатационных условий. Присадки бывают вязкостные, антиокислительные, антикоррозийные, улучшающие смазывающую способность, повышающие липкость, антипенные и комплексные.

**Вязкостные присадки.** При помощи вязкостных (загущающих) присадок маслам, имеющим низкую температуру застывания и хорошую жидкотекучесть при низких температурах, можно придать требуемую вязкость. При этом они почти полностью сохраняют низкотемпературные свойства маловязких масел, взятых для загущения, и приобретают прочность масляной пленки, свойственную маслам, имеющим более высокую вязкость. Добавляют такие присадки к маслам в количестве до 5% от общего веса масла.

В качестве вязкостных или загущающих присадок применяют, в частности, полиизобутилен и винипол.

Загущенные масла имеют достаточно высокую вязкость при высоких температурах и подвижность при низких температурах.

Для загущения синтетических масел обычно применяют те же присадки, что и для нефтяных масел.

**Антиокислительные присадки (ингибиторы).** Для повышения устойчивости масел против окисления к ним добавляют противокислительные присадки, называемые ингибиторами окисления. Обычно антиокислители добавляют к маслам в количестве 0,1–1%, что позволяет эксплуатировать машины на маслах с такими присадками при температуре до 150–170 °С.

**Алкилфеноловые присадки** особенно хорошо зарекомендовали себя при добавке к хорошо очищенным турбинным и трансформаторным маслам. Так, с присадкой «янол» выпускают трансформаторное масло из сернистых сортов нефти. Хороший антиокислительный эффект дает добавка к маловязким маслам азотсодержащих присадок АзНИИ-11 и АзНИИ-11Ф.

**Антикоррозийные присадки.** Для предотвращения коррозии смазываемых подшипников и механизмов к маслам добавляют различные антикоррозийные присадки. На практике их часто вводят одновременно с другими, прежде всего с антиокислительными и моющими присадками. К антикоррозийным относят присадки ЦИАТИМ-339 и ДФ-1; для автотракторных масел рекомендуются АзНИИ-4, АзНИИ-5 и АзНИИ-8; для дизелей, работающих на сернистом топливе, – АзНИИ-7 и др.

Присадку НИИ ГСМ-12 добавляют в масло для защиты металлов от коррозии при действии морской и пресной воды. В состав ее входят касторовое и турбинное масло, триэтанолламин и олеиновая кислота.

**Присадки, улучшающие смазывающую способность масел.** Для улучшения смазывающей способности масел к ним добавляют износостойкие и противозадирные присадки, в результате чего на металле образуется (происходит химическая реакция между активными веществами присадки и металлом) пленка, препятствующая износу и задирам.

В качестве таких присадок применяют:

- масла и жиры растительного и животного происхождения (горчичное, сурепное, льняное, касторовое, спермацетовое и пальмовое масла; животное сало-лярд; костное масло и др.); эти жиры можно применять и в осерненном виде – при содержании в них серы до 10–17%;
- высокомолекулярные жирные кислоты и их эфиры (олеиновая и стеариновая кислоты);
- продукты окисления парафина и петролатума;
- различные соединения, содержащие в своем составе серу, фосфор, хлор и др.

Для тяжело нагруженных зубчатых передач в прокатных станах, автомобилях и другом оборудовании, где имеют место ударные нагрузки, для защиты зубьев шестерен от задиров в местах контактов применяют высоковязкие смазочные минеральные масла с присадками, содержащими серу, фосфор, хлор и иногда свинец. Масла с содержанием свинцовых мыл, серы и хлора обладают хорошими свойствами, обеспечивающими приработку поверхностей трения.

**Присадки, повышающие липкость масла.** В качестве присадок, повышающих липкость масла, применяют добавки смолистых углеводородов типа битумов и окисленные петролатум и парафин. Хорошей маслянистостью также обладают растительные и животные жиры, добавляемые к нефтяным маслам. Это особенно важно для смазки механизмов, требующих полугустой смазки, и там, где возможно сбрасывание смазки с поверхностей трения под действием центробежных сил, например, в открытых зубчатых передачах, открытых подшипниках, цепных передачах и др.

Для закрытых зубчатых передач различного оборудования, коробок передач, задних мостов автомашин, паровых машин применяют высокосмолистые неочищенные масла – трансмиссионные и цилиндровые.

**Антипенные присадки.** При работе высокоскоростных механизмов масла разбрызгиваются и вспениваются. При этом на смазываемых поверхностях часто происходит разрыв масляной пленки пузырьками воздуха, что ухудшает смазку и одновременно вызывает большие утечки масла через зазоры и отверстия картеров. При наличии в масле воды и антиокислительных присадок вспенивание усиливается.

Для уменьшения пенообразования и гашения образовавшейся пены к маслам добавляют антипенные присадки в количествах не более 0,1%. Так, добавка к маслу только 0,001% силиконовой жидкости устраняет пенообразование масла.

Для того чтобы не допустить образования эмульсии масла с водой, применяют дезэмульгаторы. Такие присадки желательны к маслам, используемым для смазки паровых турбин, формовочных машин, и к маслам, работающим в качестве гидравлических жидкостей.

Многофункциональные (комплексные) присадки добавляют для улучшения одновременно нескольких качеств масла. К таким присадкам относят АзНИИ-4, АзНИИ-5 (СБ-2), АзНИИ-7, АзНИИ-8, ЦИАТИМ-330 МАКС), ЦИАТИМ-331, ЦИАТИМ-339, АзНИИ-ЦИАТИМ-1, паранокс, которые одновременно являются антикоррозийными, антиокислительными и улучшающими смазывающую способность масел. Некоторые из них снижают температуру застывания масла. Это позволяет



значительно увеличить долговечность смазываемых механических передач машин и механизмов, экономить масло за счет продления срока его службы.

#### 4.2.12. МАСЛА ДЛЯ ГИДРОСИСТЕМ

В гидросистемах станков и производственных машин, как правило, применяют минеральные масла вязкостью  $10 \div 35$  сСт и реже до 60 сСт. Масла малой вязкости уменьшают внутреннее трение в маслопроводах, потери в каналах и угловых переходах, облегчают работу золотников и различных устройств исполнительных органов, повышают чувствительность и точность работы всех аппаратов гидросистемы.

Однако применение слишком маловязких масел может привести к повышенным утечкам его через неплотности, перебоям в работе, потери мощности, ухудшению условий всасывания, перегреву и потерям энергии на преодоление сопротивлений.

Масла гидравлических систем должны обладать хорошими смазывающими свойствами, не вызывать коррозии металлических частей, а также набухания и разрушения уплотнений.

В гидравлических системах необходимо применять только хорошо очищенные высококачественные нейтральные масла, не содержащие асфальтово-смолистых веществ, золы, кислот, щелочей, механических примесей и воды (табл. 4.3).

Тонкость фильтрации должна быть  $5 - 10$  мкм, но не более величины зазора в подвижных рабочих сопряжениях гидроривода.

Масло перед заливкой фильтруют и заливают только при наличии свежих данных лабораторного анализа о вязкости, температуре застывания и вспышки. Для фильтрации масла в процессе работы в гидросистеме предусматривают фильтры.

Масло должно сохранять необходимую вязкость в пределах рабочей температуры, которая в гидросистеме не должна превышать  $60$  °С. Выщелоченные и неочищенные дистиллятные масла применять в гидросистемах недопустимо, так как они склонны к эмульсированию и образованию осадков, забивающих маслопроводы, каналы и нарушающих нормальную работу клапанов, золотников и других узлов.

Чаще всего в гидросистемах станков применяют масла индустриальное 20 и турбинное 22 или их заменители. При работе гидросистем при отрицательных температурах следует применять масла с низкой температурой застывания или соответствующие низкозастывающие смеси.

### 4.3. ПОДАЧА СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

#### 4.3.1. СПОСОБЫ СМАЗКИ

Подача смазочных материалов к трущимся поверхностям подшипников и другим различным узлам и деталям машин должна быть непрерывной, но в зависимости от назначения может быть индивидуальной, централизованной - циркуляционной смазкой или периодической, без принудительного давления или под давлением.

Вопрос о способе смазки следует решать при компоновке редуктора или механизма, так как это влияет на выбор варианта конструкции механизма и его деталей.

Периодической подачей смазочного материала пользуются, когда требуется восстановить смазку на работающих деталях или восстановить расходимую смазку в картере машины, корпусе редуктора и т.п.

Подачу материала без принудительного давления осуществляют тогда, когда режим работы смазываемых узлов и деталей умеренно напряженный и требуемое количество смазочного материала небольшое.

В механизмах для ограничения нагрева масла произведение среднего давления  $p$  на скорость скольжения  $v$  не должно превышать допустимого значения:

$$pv \leq [pv],$$

где  $p$  – в МПа (Н/мм<sup>2</sup>);  $v$  – средняя скорость скольжения, где  $v = \omega d/2 = \pi dn/60$ , м/с.

Как правило, необходимое количество масла для подачи в передачу определяют из условия, что вся теплота, выделяемая в передаче, отводится маслом.

Для предотвращения быстрого старения масла скорость в нагнетательных трубопроводах принимают не более  $2 - 3$  м/с, а во всасывающих – не более  $1,5$  м/с. Объем масла в баке принимают равным объему масла, подаваемому насосом за  $3-5$  мин.

Критерием для выбора смазки служит произведение  $dn$ , где  $d$  – диаметр цапфы подшипника, мм;  $n$  – частота вращения вала, мин<sup>-1</sup>.

При  $dn > 300000$  мм·мин<sup>-1</sup> и централизованной смазке применяют жидкие масла.

При  $dn < 300000$  мм·мин<sup>-1</sup>, а также в труднодоступных для смазки местах применяют пластичные смазки, которые закладываются при сборке механизмов на заводе и периодически заменяются в процессе эксплуатации.

Например, в редукторах с горизонтальным расположением валов применяют масляную ванну для подшипников качения при  $d_{ср} < 200000$  мм·мин<sup>-1</sup>, когда подшипник изолирован от общей системы смазки.

Количество масла, необходимого для смазывания (поливания) зацепления, условия охлаждения зубчатых колес и допустимого нагрева масла определяют по формуле

$$Q_m = \frac{W_{зац}}{60c\rho\Delta t_m\eta_m},$$

где  $W_{зац}$  – количество тепла, выделяемого в зацеплении, ккал/ч;  $c \approx 0,4 \div 0,45$  ккал/кг · °С – удельная теплоемкость масла;  $\rho \approx 0,9$  – плотность масла;  $\Delta t_m = 5 \div 10$  °С – допустимое повышение температуры масла;  $\eta_m = 0,5 \div 0,8$  – коэффициент использования масла.

Этим коэффициентом  $\eta_m$  учитывают, что не все масло, поливаемое на зубчатые колеса, одинаково участвует в теплообмене, так как часть отбрасывается центробежной силой или потоком воздуха; величина  $\eta_m$  зависит от места подвода масла и скорости вращения колес. При подаче масла снизу вверх и больших скоростях следует брать меньшее значение коэффициента использования масла. Количество тепла, выделяемого в зацеплении, ккал/ч

$$W_{\text{зац}} = 860N_{\text{тр}},$$

где  $N_{\text{тр}} = N_{\text{тз}}(1 - \eta)$  – потеря мощности на трение в зацеплении;  $N_{\text{тз}}$  – мощность, подводимая к зубчатому зацеплению, кВт;  $\eta$  – общий КПД редуктора

$$\eta = \eta_{\text{зуб}} \eta_n,$$

где  $\eta_{\text{зуб}} \approx 1 - 2,3f \left( \frac{1}{z_{\text{ш}}} \pm \frac{1}{z_{\text{к}}} \right)$ ,  $f = 0,08 \div 0,1$  – коэффициент трения в зацеплении;  $z_{\text{ш}}$  и  $z_{\text{к}}$  – числа зубьев шестерни и колеса;

знак «минус» относится к внутреннему зацеплению.

Температуру масла  $t_m$  в корпусе редуктора (червячного) при непрерывной работе без искусственного охлаждения определяют по формуле

$$t_m = t_B + \frac{P_1(1 - \eta)}{K_1 A} \leq [t_m] = 80 \div 95 \text{ } ^\circ\text{C},$$

где  $P_1$  – мощность на быстроходном валу редуктора, Вт;  $\eta$  – КПД редуктора;

$K_1 = 9 \div 17 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$  – коэффициент теплопередачи;  $A$  – площадь (геометрическая) теплоотдающей поверхности (без площади днища) корпуса редуктора,  $\text{м}^2$ ;  $t_B = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$  – температура воздуха вне корпуса редуктора.

Объем  $V_m$  литров масла (при смазывании окунанием), необходимый для нормальной работы червячных редукторов с  $a_w = 40 \dots 160 \text{ мм}$  в непрерывном режиме, можно определить по формуле

$$V_m \geq 0,2 + K_m(0,01a_w)^3,$$

где  $K_m = 1,8 \dots 2,5$  в зависимости от взаимного расположения осей редуктора в пространстве (меньшие значения для исполнителей с нижним червяком, большие – для вертикальных червяков).

Для редукторов и закрытых механизмов рекомендуется выбирать способ смазки, используя следующие эмпирические зависимости:

если  $\sqrt{pv^3} < 16$ , то может быть применена смазка свободно висящими кольцами;

если  $\sqrt{pv^3} \approx 16 \div 32$ , то применима смазка свободно висящими или закрепленными кольцами (или дисками) при условии искусственного охлаждения;

если  $\sqrt{pv^3} > 32$ , то необходима циркуляционная смазка под давлением.

Подачу смазочных материалов к трущимся поверхностям деталей, работающих при больших давлениях и скоростях, а также при гидростатической смазке, производят под давлением от насоса с применением централизованной системы смазки (на несколько объектов) или циркуляционной смазки (на один – два объекта).

При смазке окунанием объем масляной ванны редуктора определяют из расчета  $0,4 - 0,8 \text{ л}$  на  $1 \text{ кВт}$  передаваемой мощности.

Меньшее значение принимают для крупных редукторов. Большой объем ванны сохраняет свойства масла и улучшает условия смазывания.

Объем масла в баке (рис. 4.7) принимают равным объему масла, подаваемому насосом за  $3 - 5 \text{ мин}$ .

### 4.3.2. ЦИРКУЛЯЦИОННАЯ СМАЗКА

Применяется для зубчатых передач, работающих при скорости  $v \geq 12 \text{ м/с}$ , а в тяжелых редукторах – и при меньшей скорости. Ее применяют также и в редукторах небольшой мощности и скорости, если их конструкция не позволяет осуществить картерную смазку. При циркуляционной смазке масло в места смазки подается не из картера редуктора, а из бака, наполненного маслом, самотеком по трубопроводу или при помощи насоса под давлением.

Централизованную или циркуляционную подачу смазочного материала осуществляют от одного общего устройства к нескольким обслуживаемым узлам и деталям или машинам.

Принципиальная гидравлическая схема системы подачи масла в передачу при циркуляционном смазывании показана на рис. 4.7.

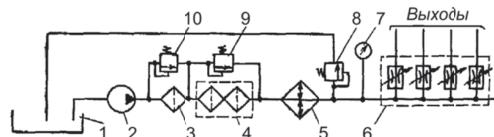


Рис. 4.7. Принципиальная гидравлическая схема системы подачи масла при циркуляционном смазывании

Масло из бака  $1$  нагнетается насосом  $2$  через фильтр грубой очистки  $3$ , магнитосетчатый фильтр тонкой очистки  $4$  и теплообменник  $5$  в маслораспределитель  $6$  (рис. 4.8, а).

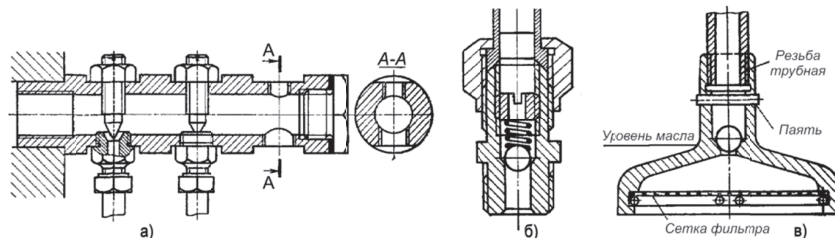


Рис. 4.8. Маслораспределитель: регулируемый (а); предохранительный клапан (б); обратный клапан (в)

Из маслораспределителя, имеющего ряд выходов с регуляторами расхода, масло поступает к точкам смазывания (сопла к местам зубчатых зацеплений колес, разбрызгиватели, отверстия в подшипниках скольжения и т. д.). Для предохранения

фильтров 3, 4 от перепада давления, превышающего допустимое значение, установлены предохранительные клапаны 9 и 10 (рис. 4.8, б), которые отводят часть масла в бак, пока давление в маслопроводе не упадет до необходимого значения. Если насос расположен выше уровня масла в резервуаре, то для обеспечения его бесперебойной работы устанавливают обратный клапан (рис.4.8, в), при остановке насоса он препятствует маслу, находящемуся во всасывающем трубопроводе, стекать обратно в резервуар.

Давление масла перед маслораспределителем контролируется по манометру 7. Предохранение системы от перегрузки по давлению обеспечивается с помощью предохранительного клапана 8.

### 4.3.3. НАСОСЫ ДЛЯ ПОДАЧИ СМАЗКИ

**Плунжерные насосы.** Насос приводят в действие от отдельного электродвигателя или от одного из валов редуктора (рис. 4.9 и 4.10, в).

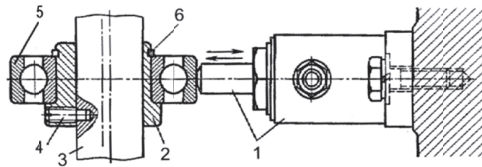


Рис. 4.9. Привод плунжерного насоса от вала редуктора:

1 – насос; 2 – втулка с эксцентриситетом; 3 – вал; 4 – винт для крепления втулки на валу; 5 – шарикоподшипник; 6 – кольцо замковое

Конструкция насосов и способы их крепления приведены на рис 4.10. Основные размеры плунжерных насосов в табл. 4.13.

Таблица 4.13

Основные размеры плунжерных насосов

| Диаметр плунжера, $d$ , мм | Производительность, л/мин | $H_{наиб}$ | $H_1$ | $A$ | $B_{наиб}$ | $a$ | $b$ | $k$ | $d_1$ | $d_2$ | $D$ | $D_1$ | $h$ | $l$ | $u$ |
|----------------------------|---------------------------|------------|-------|-----|------------|-----|-----|-----|-------|-------|-----|-------|-----|-----|-----|
| 8                          | 0,003                     | 80         | —     | 78  | 115        | 15  | 56  | 10  | 9     | 14    | 32  | —     | 38  | 35  | 20  |
| 12                         | 0,006                     |            |       |     |            | 16  |     |     |       |       |     |       |     |     |     |
| 18                         | 0,014                     | 90         | 118   | 100 | 142        | 20  | 76  | 12  | 11    | 17    | 48  | 15    | 45  | 55  | 30  |
| 25                         | 0,026                     |            |       |     |            |     |     |     |       |       |     |       |     |     |     |

Примечание. Давление подводимого в магистраль масла до 10 Н/мм<sup>2</sup>

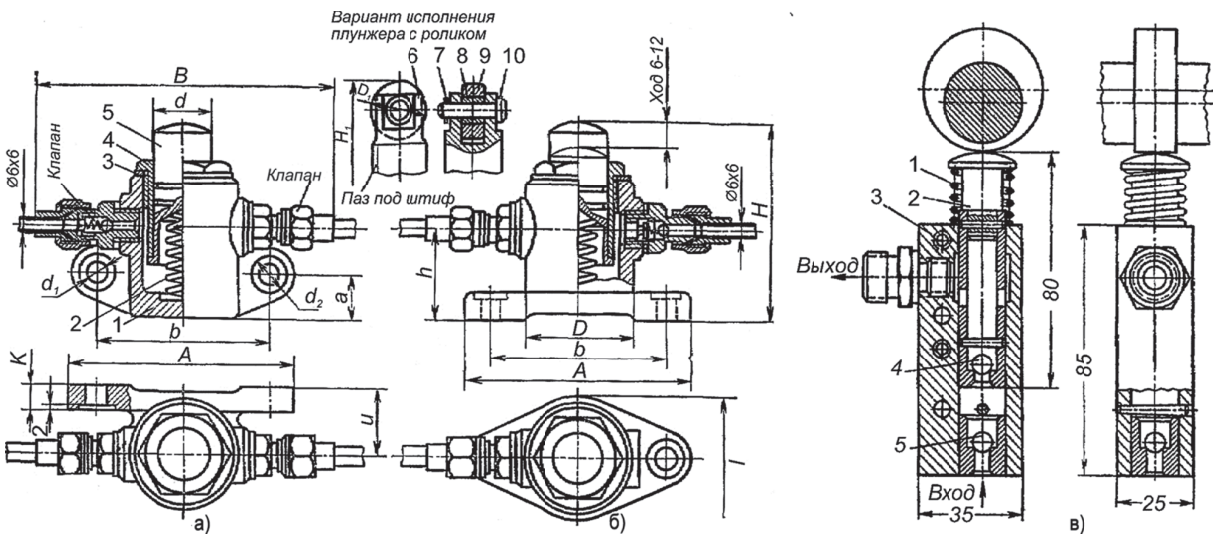


Рис. 4.10. Плунжерные насосы:

а – с креплением на вертикальной плоскости; б – с креплением на горизонтальной плоскости:

1 – корпус; 2 – пружина; 3 – прокладка; 4 – направляющая втулка; 5 – плунжер.

6 – плунжер с роликом; 7 – шпилька; 8 – втулка; 9 – ролик; 10 – палец.

в – для установки в резервуар с маслом: 1-пружина; 2 – плунжер; 3 – корпус; 4 – клапан нагнетательный; 5 – клапан всасывающий

Производительность плунжерных насосов в зависимости от хода  $S$  плунжера, его диаметра и числа двойных ходов определяют по номограмме (рис. 4.11), где для плунжера  $d = 25$  мм подача масла  $Q$  совмещена с осью ординат графика.





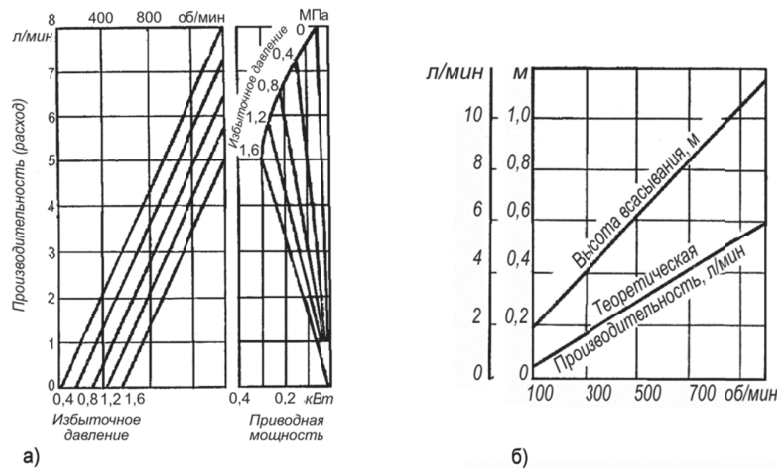


Рис. 4.14. Номограмма производительности: а – шестерчатого насоса (рис. 4.12). Высота всасывания 1000 мм; б – лопастного насоса (рис. 4.13)

### 4.3.6. ФИЛЬТРАЦИЯ МАСЛА

По степени очистки жидких масел различают фильтры грубой очистки, пропускающие частицы размером 0,2 мм и выше; нормальной очистки – до 0,10 мм, тонкой очистки – до 0,05 мм и очень тонкой очистки – до 0,005 мм.

Необходимую тонкость фильтрации обычно определяют по величине зазоров в сопряжении деталей. Если зазор между сопряженными деталями более 5 мкм, то в системе необходимо установить фильтр, удерживающий механические примеси размером более 3 – 5 мкм. Фильтры бывают с механической очисткой и без нее.

**Пластинчатые фильтры** (рис. 4.15 и табл. 4.14) относятся к фильтрам с механической очисткой или щелевым. Чистота фильтрации зависит от толщины промежуточных пластин.

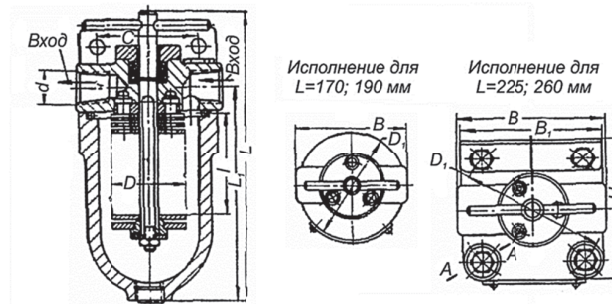


Рис. 4.15. Пластинчатые фильтры

Таблица 4.14

| Пропускная способность в л/мин при толщине промежуточной пластинки, мм |      |      | Резьба присоединительная по ГОСТ 6111-52 | L           | L <sub>1</sub> | l   | D  | D <sub>1</sub> | H   | B   | B <sub>1</sub> | c  |
|--|------|------|--|-------------|----------------|-----|----|----------------|-----|-----|----------------|----|
| 0,08   | 0,12 | 0,20 |  | Размеры, мм |                |     |    |                |     |     |                |    |
| 3  | 5    | 8    | K <sup>3</sup> / <sub>8</sub> "          | 170         | 110            | 40  | 34 | 82             | –   | 82  | –              | –  |
| 8  | 12   | 18   | K <sup>1</sup> / <sub>2</sub> "          | 190         | 130            | 60  | 34 | 82             | –   | 82  | –              | –  |
| 18   | 25   | 35   | K <sup>1</sup> / <sub>2</sub> "          | 225         | 170            | 80  | 56 | 112            | 110 | 115 | 106            | 80 |
| 35   | 50   | 70   | K <sup>3</sup> / <sub>4</sub> "          | 260         | 205            | 120 | 56 | 112            | 110 | 115 | 106            | 80 |

Примечание. Указанные в таблице величины расхода относятся к перепаду давления 2 Н/см<sup>2</sup> масло «индустриальное 20» при температуре 20 – 25°С.

**Сетчатые фильтры** (рис. 4.16 и табл. 4.16) применяют при нормальной фильтрации и для подачи смазочного масла в объемах 18, 35 и 70 л/мин, а также при тонкой фильтрации и в объемах 5, 12 и 25 л/мин. Для фильтрации применяют латунную сетку.

Фильтрующие качества сеток определяются коэффициентом

$$k = F_0/F$$

где  $F_0$  – площадь живого сечения сетки;  $F$  – общая площадь сетки.

При равенстве сечения проволок по основе и утку коэффициент определяется из уравнения

$$k = (1 - dz/l)^2;$$

где  $d$  – диаметр проволоки;  $z$  – число проволок на длине  $l$ ;  $l$  – длина (и ширина) квадратного куска сетки.

Для сравнительной оценки плетеных фильтров с различными  $k$  пользуются уравнением

$$Q = \alpha F \Delta p / \nu,$$

где  $Q$  – расход масла через фильтрующую поверхность;  $F$  – площадь фильтрующей поверхности;  $\nu$  – коэффициент абсолютной (динамической) вязкости масла при температуре фильтрования;  $\alpha$  – коэффициент удельного расхода (пропускной способности);  $\Delta p$  – перепад давлений.

В табл. 4.15 приведены значения  $\alpha$  для плетеных проволочных сеток.

Таблица 4.15

| Сетки проволочные плетеные и их пропускная способность ( $\alpha$ ) |     |     |      |      |      |      |      |      |
|---|-----|-----|------|------|------|------|------|------|
| № сетки по ГОСТ 6613–86   | 018 | 015 | 0125 | 0105 | 0085 | 0075 | 0063 | 0045 |
| $\alpha$  | 3,5 | 2,6 | 2,1  | 1,5  | 1,04 | 0,94 | 0,8  | 0,53 |

Обычно в фильтрах применяют для нормальной фильтрации сетку № 0125 по ГОСТу 6613-73, а для тонкой – фильтровую сетку № 75 по ГОСТу 3187-76.

Вследствие того, что в процессе работы фильтр засоряется, а его рабочая поверхность при этом уменьшается, расчетную поверхность фильтра увеличивают в четыре раза с учетом того, что при засорении 75% фильтра перепад давления останется в расчетных пределах. Фильтры с перепускными гидроклапанами настраиваются на двухкратный расчетный перепад давления.

Таблица 4.16

| Сетчатые фильтры              |                       |  |             |       |     |     |       |     |     |       |     |
|-------------------------------|-----------------------|--|-------------|-------|-----|-----|-------|-----|-----|-------|-----|
| Пропускная способность, л/мин |                       | Резьба присоединительная по ГОСТ 6111-52 | $L$         | $L_i$ | $l$ | $D$ | $D_i$ | $H$ | $B$ | $B_i$ | $C$ |
| при нормальной фильтрации     | при тонкой фильтрации |  | Размеры, мм |       |     |     |       |     |     |       |     |
| 18                            | 5                     | $K^{3/8}$ "                              | 150         | 130   | 70  | 50  | 82    | —   | 82  | —     | —   |
| 35                            | 12                    | $K^{1/2}$ "                              | 192         | 170   | 100 | 70  | 112   | 110 | 115 | 106   | 80  |
| 70                            | 25                    | $K^{3/4}$ "                              | 227         | 205   | 140 | 70  | 112   | 110 | 115 | 106   | 80  |

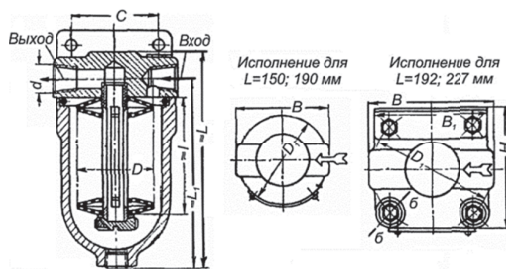


Рис. 4.16. Сетчатые фильтры

Особо тонкая фильтрация для удержания частиц размером 0,5 – 10 мкм при перепаде давления не выше 1,0 Н/см<sup>2</sup> достигается применением фильтровальной бумаги.

Для вылавливания из масла ферромагнитных частиц применяют магнитные фильтры и магнитные уловители.

#### 4.3.7. КАРТЕРНАЯ СМАЗКА

Осуществляется окунанием зубчатых и червячных колес или червяков, или же вспомогательных деталей (смазочных шестерен, колец и т. п.) в масло, заливаемое внутрь корпуса редуктора; ее обычно применяют для зубчатых передач при окружных скоростях в зацеплении при  $v \leq 12$  м/с, а для червячных передач при окружной скорости червяка при  $v \leq 10$  м/с. При большей скорости масло сбрасывается со смазываемых деталей и значительно возрастают потери мощности на перемешивание масла и его температура. Большая скорость колес вызывает чрезмерное разбрызгивание масла и его окисление.

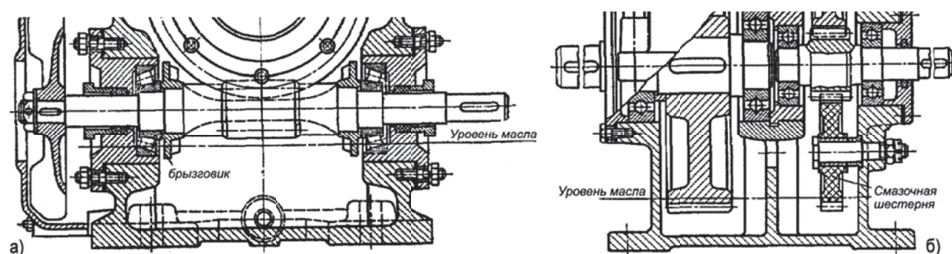


Рис. 4.17. Редукторы червячный и цилиндрический зубчатый со смазочной шестерней

Зубчатые и червячные колеса погружают в масло на высоту зуба, а червяк (при нижнем его расположении) – на высоту витка, но не выше центра нижнего шарика или ролика подшипника качения вала червяка. Если по условию нормальной работы подшипников качения установленный уровень масла в редукторе не позволяет погружать червяк в масло на достаточную высоту витка червяка, то применяют брызговики (цельные или съемные), забрасывающие масло на червячное колесо, которое обеспечивает зацепление смазкой (рис. 4.17, а). Обычно устанавливают два брызговика, чтобы обеспечить смазку зацепления при изменении направления вращения червяка.

В конических редукторах рекомендуется погружать зубья колес на всю длину. В многоступенчатых и комбинированных редукторах часто не удается погружать зубья всех колес в масло, так как для этого необходим очень высокий уровень его, что может повлечь за собой слишком большое погружение зубчатого колеса тихоходной ступени, а в вертикальных зубчатых редукторах могут оказаться погруженными в масло также и подшипники. В этих случаях применяют смазочные шестерни (рис. 4.17, б), изготовленные из текстолита или других неметаллических материалов, смазочные кольца (рис. 4.19), раздельные ванны и другие устройства.



Смазочные шестерни часто делают из текстолита или других неметаллических материалов, применяемых для изготовления зубчатых колес, при этом ширина шестерни должна быть значительно меньше ширины колес зубчатой пары, которую она смазывает (до  $0,3 b$ ). При небольшой окружной скорости (порядка  $0,5 \div 0,8$  м/с) предельной высотой погружения колеса в масло следует считать  $1/6$  его радиуса, а для тихоходных передач – до  $1/3$  радиуса колеса. При смазке окунанием объем масляной ванны редуктора определяют из расчета  $0,4 \div 0,8$  л масла на 1 кВт передаваемой мощности. Меньшее значение принимают для крупных редукторов.

При кольцевой смазке во время работы линия, соединяющая центр вала и центр свободно висящего кольца, смещается на  $20-25^\circ$  (рис. 4.18, а). Это необходимо учитывать при конструировании корпуса и вкладышей подшипника.

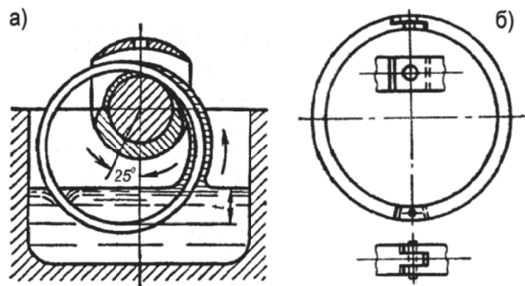


Рис. 4.18. Смещение кольца при вращении вала (а); устройство замка разъема кольца (б)

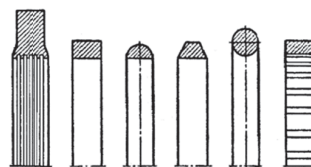


Рис. 4.19. Конструкции смазочных колец

На рис. 4.18, б показан замок и шарнир свободно висящего разъемного кольца. Для обеспечения беспрепятственного вращения кольца замок не должен иметь выступов и заусенцев.

Наилучшие результаты получаются при смазке свободно висящим кольцом, имеющим продольные канавки на внутренней поверхности (рис. 4.19). На практике наибольшее распространение получило простое в изготовлении разъемное кольцо прямоугольного сечения. Его недостатком является малый вес, вследствие чего появляется опасность прилипания кольца к боковым стенкам верхнего вкладыша и прекращения подачи масла. Кроме этого, относительно большой периметр сечения кольца создает повышенное сопротивление движению его в масле. Кольца полукруглого и трапециевидного сечений имеют меньшую поверхность соприкосновения с маслом в резервуаре, что способствует большей скорости их вращения. Кольца круглого сечения применяют при небольшой подаче масла. Если масло имеет кинематическую вязкость выше 42 сСт, то используют кольца, имеющие на внутренней поверхности поперечные канавки.

Наибольшая глубина  $t$  погружения кольца в масло (рис. 4.18, а):

$$t = D/4 \text{ при } D = 25 \div 40 \text{ мм;}$$

$$t = D/5 \text{ при } D = 45 \div 65 \text{ мм;}$$

$$t = D/6 \text{ при } D = 70 \div 310 \text{ мм,}$$

где  $D$  – внутренний диаметр кольца (табл.4.17).

Количество масла, подаваемое кольцом, уменьшается с повышением температуры масла в резервуаре. Свободно висящее кольцо обеспечивает подачу масла  $2 \div 10$  см<sup>3</sup>/мин.

Если отношение длины подшипника к диаметру более 1,5, то ставят два кольца.

Таблица 4.17

Размеры свободно висящих смазочных колец, мм

| d                    | D  | b  | s | B     |       | d         | D   | b         | s   | B     |       |
|----------------------|----|----|---|-------|-------|-----------|-----|-----------|-----|-------|-------|
|                      |    |    |   | наим. | наиб. |           |     |           |     | наим. | наиб. |
| 10                   | 25 | 5  | 2 | 6     | 8     | 60        | 100 | 12        | 4   | 13    | 16    |
| 12                   | 30 |    |   |       |       | 62,65     | 110 |           |     |       |       |
| 13,14,15,<br>16, 17, | 35 | 6  | 2 | 7     | 10    | 70, 75    | 120 | 85        | 90  | 140   | 150   |
| 18, 20               |    |    |   |       |       | 40        | 80  |           |     |       |       |
| 22                   | 45 | 8  | 3 | 9     | 12    | 95        | 150 | 110 - 120 | 180 | 125   | 130   |
| 25, 28               | 50 |    |   |       |       | 100, 105  | 165 |           |     |       |       |
| 30                   | 55 | 10 | 3 | 11    | 14    | 110 - 120 | 200 | 150, 160  | 240 | 170   | 260   |
| 32                   | 60 |    |   |       |       | 125       | 130 |           |     |       |       |
| 35                   | 65 | 12 | 4 | 13    | 16    | 140       | 220 | 180, 190  | 285 | 200   | 310   |
| 38, 40               | 70 |    |   |       |       | 150, 160  | 240 |           |     |       |       |
| 42                   | 75 | 12 | 4 | 13    | 16    | 170       | 260 | 180, 190  | 285 | 200   | 310   |
| 45, 48               | 80 |    |   |       |       | 180, 190  | 285 |           |     |       |       |
| 50, 52, 55           | 90 | 12 | 4 | 13    | 16    | 200       | 310 | 21        | 7   | 24    | 28    |

Смазку при помощи диска или кольца, неподвижно закрепленного на валу, применяют преимущественно при малых числах оборотов вала. Их применяют также в случае более вязких масел, которые можно снимать с наружной поверхности кольца специальным скребком, помещенным в верхней части подшипника.

Периодичность смены масел в картерах при работе оборудования приведена в табл. 4.18.

Таблица 4.18

Периодичность смены масел в картерах в зависимости от условий работы оборудования в одну смену

| Емкость картеров, кгс   | Периодичность (в месяцах) между сменой масла в станках, работающих в условиях |   | Долив до требуемого уровня производится после количества дней работы |
|-------------------------|---|---|--|
|                         | нормальных  | абразивной пыли или иной загрязненной среды |  |
| До 10                   | 4–4,5   | 3–3,5                                       | 5–6  |
| 10–50                   | 5–6   | 3,5–4                                       | 5–6  |
| Свыше 50                | 6–6,5   | 4–4,5                                       | 6–8  |
| Для подшипников качения | 6–6,5   | 4–4,5                                       | 8–10   |

### 4.3.8. ИНДИВИДУАЛЬНАЯ СМАЗКА

Может быть периодической, без принудительного давления или под давлением.

Характеристики и области применения основных смазочных устройств находятся в зависимости от оборудования и условий его работы.

Экспериментально установлено, что при фитильной смазке уровень масла, находящегося в резервуаре масленки, не должен превышать 50 мм. При этом уровне обеспечивается наибольшая подача масла. Хорошо просушенный фитиль, состоящий из 25 хлопчатобумажных нитей, в среднем обеспечивает подачу масла в объеме до  $1\div 5 \text{ см}^3/\text{ч}$ . Во избежание сильных колебаний в интенсивности подачи масла резервуары фитильных масленок выполняют невысокими, но широкими.

Для индивидуальной непрерывной смазки маслом без принудительного давления применяют масленки фитильную (рис. 4.20, а) и наливную капельную с регулировочно-запорной иглой (рис. 4.20, б). Размеры приведены в табл. 4.19.

Фитильная масленка обеспечивает непрерывную подачу масла через фитиль.

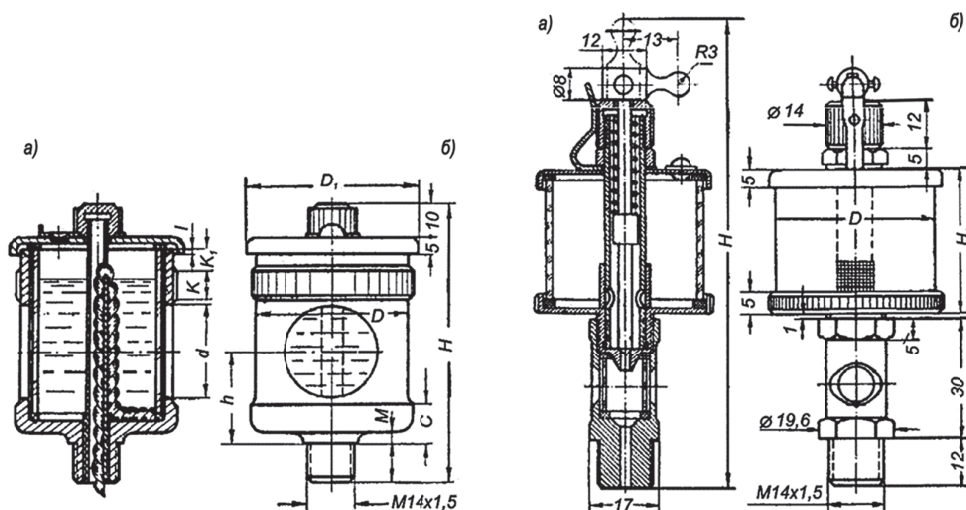


Рис. 4.20. Масленки фитильная (а) и капельная (б) с регулировочно-запорной иглой

Таблица 4.19

|  |                        | Размеры масленок, мм |       |     |     |     |     |       |     |       |
|--|------------------------|----------------------|-------|-----|-----|-----|-----|-------|-----|-------|
| Фитильная масленка<br>(рис. 4.20, а)                 | Емкость, $\text{см}^3$ | $D$                  | $D_1$ | $H$ | $d$ | $h$ | $C$ | $M$   | $K$ | $K_1$ |
|  | 12                     | 28                   | 34    | 75  | 18  | 24  | 8   | 2     | 6   | 5     |
|  | 25                     | 38                   | 44    | 85  | 22  | 28  | 10  | 3     | 8   | 6     |
|  | 50                     | 48                   | 54    | 85  | 30  | 28  | 12  | 3     | 8   | 6     |
| Наливная масленка с запорной иглой<br>(рис. 4.20, б) | Емкость, $\text{см}^3$ | $D$                  |       |     | $H$ |     |     | $H_1$ |     |       |
|  | 25                     | 40                   |       |     | 115 |     |     | 35    |     |       |
|  | 50                     | 45                   |       |     | 125 |     |     | 45    |     |       |
|  | 100                    | 50                   |       |     | 145 |     |     | 65    |     |       |

Недостаток ее заключается в том, что она подает масло в подшипники и тогда, когда они не работают. Капельная масленка перемещением иглы позволяет регулировать подачу и в нерабочее время прекращать подачу масла.

Для подачи масел и смазок для ручной смазки без принудительного давления применяют масленки с поворотной крышкой (табл. 4.20, а), в которую масло заливают ручной масленкой-лейкой, и пресс-масленки под запрессовку (табл. 4.20, б), в которую масло заливают шприцем.

**Масленки с поворотной крышкой**

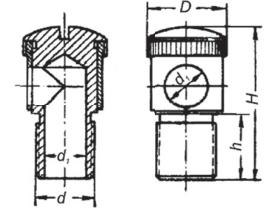
|   |            |     |     |     |       |
|---|------------|-----|-----|-----|-------|
|  | Резьба $d$ | $H$ | $D$ | $h$ | $d_1$ |
|   | M10×1      | 25  | 14  | 8   | 6     |
|   | M16×1,5    | 40  | 20  | 15  | 12    |

Таблица 4.20, б

**Пресс-масленки под запрессовку**

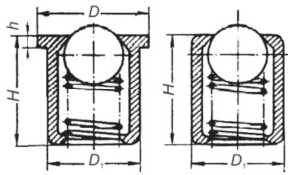
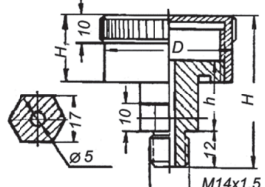
|   |                |     |     |       |     |                |
|---|----------------|-----|-----|-------|-----|----------------|
|  | Номер масленки | $H$ | $D$ | $D_1$ | $h$ | Диаметр шарика |
|   | 1              | 6   | 8   | 6     | 1   | 3              |
|   | 2              | 12  | 12  | 10    | 1,5 | 6              |
|   | 3              | 20  | 18  | 16    | 2   | 11             |
|   | 4              | 30  | 28  | 25    | 3,5 | 18             |

Таблица 4.20, в

**Колпачковые масленки**

|   |                           |     |       |     |     |
|---|---------------------------|-----|-------|-----|-----|
|  | Емкость в см <sup>3</sup> | $H$ | $H_1$ | $h$ | $D$ |
|   | 12                        | 45  | 20    | 20  | 35  |
|   | 25                        | 54  | 24    | 26  | 45  |
|   | 50                        | 66  | 30    | 32  | 55  |

Индивидуальную периодическую смазку консистентными материалами осуществляют колпачковыми масленками (табл. 4.20, в). Периодически завинчиванием крышки смазку выдавливают из масленки и она поступает к трущимся поверхностям деталей.

Для индивидуальной смазки консистентными материалами под давлением применяют масленку с принудительной, под действием пружины, подачей смазки (рис. 4.21, а), (табл. 4.21) и пресс-масленки, устанавливаемые вертикально и с наклоном (рис. 4.21, б) (табл. 4.22), через которые смазка поступает к трущимся поверхностям под давлением посредством ручного шприца (рис. 4.23), который имеет для удобства работы переходные штуцера  $l$ .

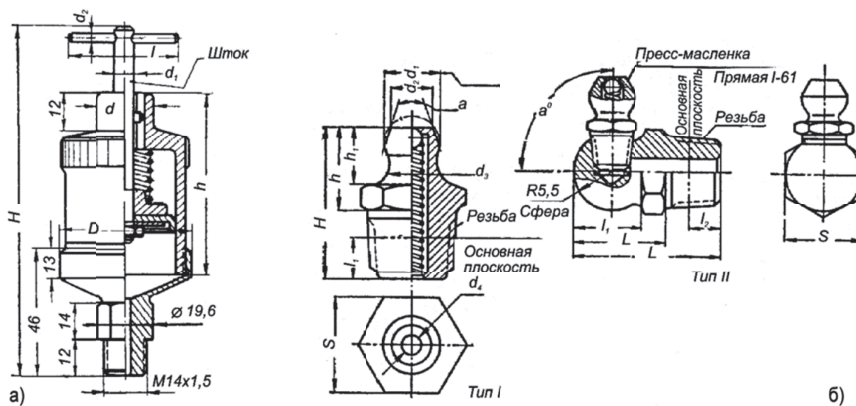


Рис. 4.21. Масленка для принудительной подачи смазки (а) и пресс-масленка для смазки (б)

Т а б л и ц а 4.21

**Масленка для принудительной подачи смазки**

|                        |     |     |     |       |       |     |     |
|------------------------|-----|-----|-----|-------|-------|-----|-----|
| Объем, см <sup>3</sup> | $D$ | $H$ | $d$ | $d_1$ | $d_2$ | $l$ | $h$ |
| 12                     | 45  | 123 | 22  | 8     | 3     | 40  | 60  |
| 25                     | 56  | 130 | 22  | 8     | 3     | 40  | 64  |
| 50                     | 65  | 145 | 26  | 10    | 4     | 50  | 78  |

**Примечание.** Для прекращения подачи смазки необходимо шток поднять до выхода штифта и повернуть.

| Пресс-масленка                              |          |          |          |           |            |          |          |                |     |     |       |              |          |          |
|---|----------|----------|----------|-----------|------------|----------|----------|----------------|-----|-----|-------|--------------|----------|----------|
| Резьба                                      | $H$      | $h$      | $h_1$    | $d_1$     | $d_2$      | $d_3$    | $d_4$    | $\alpha^\circ$ | $L$ | $l$ | $l_1$ | $l_2$        | $S$      | $D^*$    |
| Тип 1 – прямая                              |          |          |          |           |            |          |          |                |     |     |       |              |          |          |
| $K^{1/8}$ "<br>$K^{1/4}$ "<br>ГОСТ 6111-52  | 18<br>24 | 10<br>12 | 7<br>7,5 | 6,7<br>10 | 4,5<br>5,2 | 5,8<br>8 | 2<br>4,5 | 48<br>60       | –   | –   | –     | 4,57<br>5,08 | 11<br>14 | 2,5<br>6 |
| $M6 \times 1$<br>коническая<br>ГОСТ 1303-56 | 13<br>18 | 8        | 6        | 6,7       | 4,5        | 5,8      | 2        | 48             | –   | –   | –     | 2<br>4       | 8        | 2,5      |
| $M10 \times 1$                              | 18       | 10       | 7        | 6,7       | 4,5        | 5,8      | 2        | 48             | –   | –   | –     | –            | 11       | 2,5      |
| Тип 11 – с наклоном                         |          |          |          |           |            |          |          |                |     |     |       |              |          |          |
| $K^{1/8}$ "<br>ГОСТ 6111-52                 | –        | –        | –        | –         | –          | –        | –        | 30<br>45       | 22  | 14  | 10,5  | 4,57         | 11       | –        |
| $M6 \times 1$<br>коническая<br>ГОСТ 1303-56 | –        | –        | –        | –         | –          | –        | –        | 70<br>90       | 20  | 13  | 10,5  | 4            | 11       | –        |
| $M10 \times 1$                              | –        | –        | –        | –         | –          | –        | –        | 30<br>45<br>90 | 22  | 14  | 10,5  | –            | 11       | –        |

### 4.3.9. ЗАПРАВОЧНЫЕ РУЧНЫЕ УСТРОЙСТВА

Для заполнения смазкой зазоров трущихся пар с помощью индивидуальных точечных масленок, а также для наполнения резервуаров и масляных ванн применяют устройства для ручного или механического наполнения (передвижные установки с насосами) с непрерывной недозированной подачей смазочного материала (непрерывность зависит от емкости резервуара), или с периодической дозированной подачей или подачей под действием силы тяжести масла, под давлением.

Для заполнения резервуаров масленок различных конструкций небольшой емкости и для смазки поверхностей скольжения применяют ручные масленки объемом 0,25; 0,5; 0,75 и 1 л. В пробке масленки делают отверстие диаметром 2 мм для прохода воздуха в резервуар. Чтобы избежать вытекания масла при опрокидывании масленки в крышке устанавливают воздушный клапан. Тогда вытекание масла из масленки происходит при нажатии на кнопку.

К таким масленкам относятся поршневые порционные масленки (рис. 4.22) с размерами в табл. 4.23.

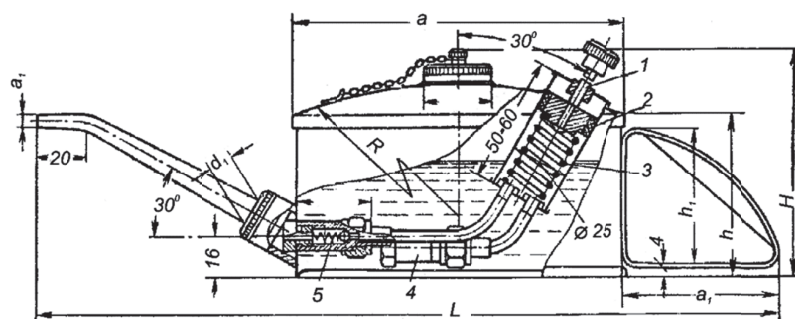


Рис. 4.22. Масленка поршневая порционная

Таблица 4.23

Масленка поршневая порционная. Основные параметры

| Емкость, л | $a$ | $a_1$ | $H$ | $h$ | $L$ | $h_1$ | $R$ | Ширина резервуара в плане, мм |
|------------|-----|-------|-----|-----|-----|-------|-----|-------------------------------|
| 0,5        | 130 | 60    | 90  | 65  | 290 | 55    | 180 | 80                            |
| 0,75       | 160 | 70    | 112 | 80  | 390 | 70    | 200 | 90                            |
| 1          | 180 | 70    | 112 | 80  | 410 | 70    | 200 | 100                           |

Подача масла поршневой порционной масленкой происходит при перемещении рукой штока 1, который передвигает поршень 2, вытесняя масло из цилиндра через клапан 5 в носик масленки. После прекращения нажатия на кнопку пружина 3 возвращает поршень в исходное положение, засасывая масло из резервуара через клапан 4.

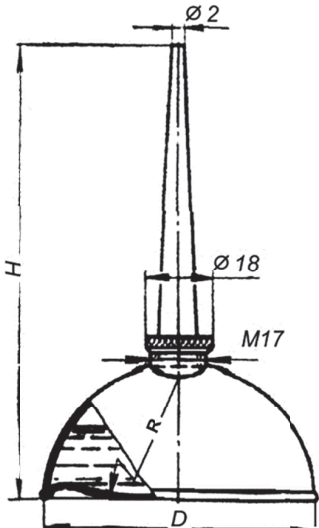
Дозу смазки определяют диаметром цилиндра и величиной хода поршня.

Преимуществами таких масленок являются возможность дозирования подачи масла и отсутствие опасности разлива масла при падении масленки.

Для подачи масла дозами при небольшом давлении для смазки деталей и приборов, требующих незначительного количества масла, применяют мембранные масленки (табл. 4.24).

Таблица 4.24

Масленка мембранная

|  | Емкость, л | $D \pm 1$ | $H \pm 5$ | $R \pm 4$ |
|---|------------|-----------|-----------|-----------|
|   | 0,05       | 60        | 100       | 200       |
| 0,10  | 75         | 110       | 250       |           |
| 0,15  | 85         | 130       | 300       |           |
| 0,20  | 95         | 135       | 300       |           |

При нажатии пальцем дно масленки прогибается, вытесняя в резервуара масло в количестве от 0,1 до 0,5 см<sup>3</sup>. Объем подаваемого масла зависит от размера и деформации дна мембраны. Наконечник масленок, в зависимости от расположения смазываемых точек в машине, выполняют различной длины, прямыми и изогнутыми. Мембранные масленки изготовляют емкостью 0,025; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2; 0,3 л.

Для заполнения каналов дозами масла под давлением через клапанные масленки применяют шприцы (рис. 4.23), которые за один двойной ход плунжера подают 0,3–0,5 см<sup>3</sup> масла при давлении до 3 МПа.

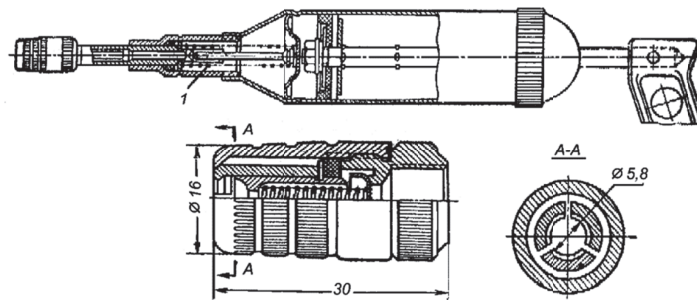


Рис. 4.23. Шприц

При снятии шприца с масленки пружина 1 перемещает рабочий цилиндр в исходное положение, подготавливая шприц к повторному циклу. Шприцы снабжены съемными наконечниками, их можно использовать и для консистентной смазки. Резервуар вмещает 200 г масла.

## Глава 5 МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

### 5.1. СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ И ПОНЯТИЯ

Все детали машин в процессе эксплуатации в той или иной мере подвергаются воздействию внешних нагрузок. Нагрузки, действующие на деталь во время работы, весьма разнообразны. Они могут растягивать ее, сжимать, изгибать и т. д. При этом воздействия могут производиться плавно, постепенно (статически) или мгновенно (динамически). Воздействуя на деталь, внешние нагрузки изменяют ее форму, т.е. деформируют. Если к детали приложены нагрузки, не превышающие расчетные, то после прекращения их действия деталь принимает свою первоначальную форму, т.е. деформация исчезает.

Поэтому при выборе материала для конкретной детали машины необходимо исходить из условия, что изготовленная из него деталь будет обладать достаточным запасом прочности и надежности и быть устойчивой к преждевременному износу. Так, пружины и рессоры должны быть упругими, оси – стойкими против истирания, валы должны быть устойчивы к изгибу, подшипники скольжения – обладать антифрикционными свойствами.

Качество материалов для создаваемых конструкций оценивается механическими, физическими и технологическими свойствами.

#### 5.1.1. ОСНОВНЫЕ МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Свойство материалов принимать первоначальную форму после прекращения действия внешних сил называется **упругостью**, а **деформация**, исчезающая после снятия нагрузки, получила название **упругой**. Если к детали прикладывать все возрастающую нагрузку, то при достижении ею определенных значений и после прекращения ее действия деталь не примет своей первоначальной формы, а останется деформированной. Такая **деформация** называется **пластической**. Способность материала деформироваться под действием внешних нагрузок не разрушаясь и сохранять измененную форму после прекращения действия нагрузок называется **пластичностью**.

Материалы, не способные к пластическим деформациям, называются **хрупкими**. Такие материалы при избыточной нагрузке или под действием удара разрушаются внезапно. К хрупким материалам относятся (стекло, камень, чугун, закаленная сталь и др.).

Важным свойством материалов, наряду с упругостью и пластичностью, является **прочность**. Она характеризуется **максимальной нагрузкой**, которую выдерживает материал не разрушаясь.

Детали машин в зависимости от условий работы должны обладать определенными механическими свойствами (прочностью, упругостью и пластичностью).

Прочность, упругость и пластичность металлов определяют при испытании образцов круглой или плоской формы на растяжение. Основными параметрами являются размер диаметра  $d$  и расчетная, контролируемая длина  $l_0$  образца (рис. 5.1). Испытания выполняют на разрывных машинах.

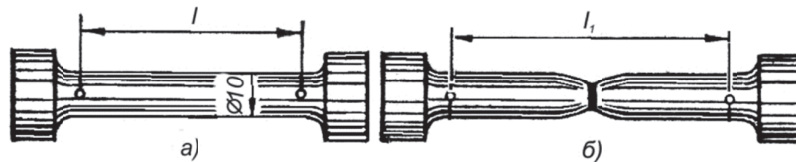


Рис.5.1. Круглый образец до (а) и после (б) испытаний

Для получения сравнимых результатов введено понятие **нормальное напряжение**. Нормальным напряжением называют нагрузку, приходящуюся на единицу площади поперечного сечения образца. Нормальное напряжение обозначается греческой буквой  $\sigma$  (сигма).

Для нагрузки  $P$  в ньютонах (Н) и площади поперечного сечения  $F$  в  $\text{мм}^2$ ,  $\sigma = P/F$  Па. Пользуясь диаграммой растяжения, можно определить показатели механических свойств металла, из которого изготовлен образец. Точка  $A$  (рис. 5.2) соответствует максимальной нагрузке, которую выдерживает образец, не теряя своих упругих свойств. Если к образцу приложить такую или меньшую нагрузку, а затем ее снять, то никакого остаточного удлинения он не получит.

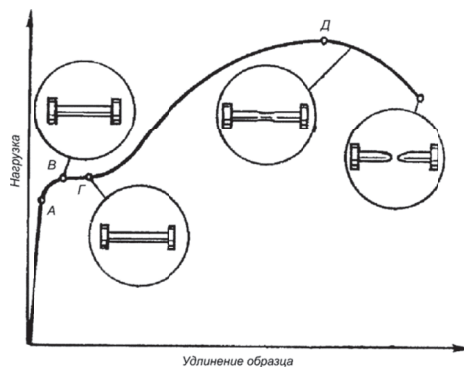


Рис. 5.2. Диаграмма растяжения стального образца



Отношением нагрузки (в точке  $A$ ) к площади поперечного сечения образца определяется величина предела упругости  $\sigma_e = P/F$  Па, т.е. максимальное напряжение, до которого металл сохраняет свои упругие свойства. Выше точки  $A$  величина удлинения начинает расти быстрее величины усилия, поэтому кривая на диаграмме изгибается (точка  $B$ ), склоняясь к горизонтальной линии. У некоторых материалов участок от точки  $B$  до точки  $\Gamma$  имеет явно выраженную горизонтальную линию и называется площадкой текучести. Напряжение, соответствующее площадке текучести, называется *пределом текучести*. Предел текучести измеряется в Па.

В точке  $B$  образец получает заметное остаточное удлинение. Отношением нагрузки (в точке  $\Gamma$ ) к площади поперечного сечения образца определяется предел текучести. Если на диаграмме растяжения нет ярко выраженной площадки текучести, то пределом текучести условно считают то напряжение, при котором остаточное удлинение образца составляет 0,2% его первоначальной длины. При расчете деталей машин на прочность конструктор чаще всего исходит из значения предела текучести. Это объясняется тем, что предел текучести определить значительно проще, чем *предел упругости*, численно же они близки между собой. При дальнейшем увеличении растягивающего усилия (выше значения предела текучести) образец будет все больше удлиняться, при этом диаметр его будет уменьшаться. Когда усилие достигнет наибольшего значения, в образце образуется шейка, т. е. в каком-то месте по длине образца диаметр его уменьшится больше, чем в других местах.

В месте, где появится шейка, образец будет наиболее тонким, в дальнейшем здесь и произойдет разрыв его на две части.

Отношением наибольшей нагрузки (в точке  $D$ ), которую выдержал образец до разрыва, к первоначальной площади его поперечного сечения определяется величина *предела прочности*. Пределом прочности называется напряжение, отвечающее максимальной нагрузке, которую выдержал образец во время испытания, которое обозначается  $\sigma_b$  и выражается в Па.

Важная характеристика материалов – удельная прочность, которая определяется отношением предела прочности к удельному весу металла. Эта характеристика имеет большое значение при выборе материала, когда необходимо уменьшить массу машины.

Показатели пластичности, характеризующие способность металла деформироваться не разрушаясь, называют *относительное удлинение* и *относительное сужение*. Для получения этих показателей обе половины разорванного образца прижимают друг к другу и измеряют длину рабочей части ( $l_k$ ), а также диаметр образца в том месте, где произошел разрыв ( $d_k$ ). Относительное удлинение обозначается греческой буквой  $\delta$  и измеряется в процентах. Его определяют формуле:

$$\delta = \frac{l_k - l_0}{l_0} \cdot 100\%$$

где  $l_0$  – первоначальная расчетная длина;  $l_k$  – расчетная длина после испытания.

Относительное сужение поперечного сечения образца  $\psi$ , также измеряемое в процентах, находят по формуле:

$$\psi = \frac{F_0 - F_k}{F_0} \cdot 100\%$$

где  $F_0$  – площадь поперечного сечения образца до испытания;  $F_k$  – площадь сечения образца в месте разрыва (в шейке).

Чем больше относительное удлинение и относительное сужение поперечного сечения образца, тем более пластичен металл. Так, например, техническое железо при растяжении до разрыва удлиняется в 1,5 раза, у серого чугуна относительное удлинение и относительное сужение близки к нулю. Для изготовления большинства деталей машин и конструкций используют относительно пластичные материалы, так как они не подвержены опасности внезапного разрушения.

При испытании на растяжение одного образца можно установить шесть характеристик металла: предел упругости ( $\sigma_e$ ), предел текучести ( $\sigma_m$ ), предел прочности ( $\sigma_b$ ), относительное удлинение ( $\delta$ ), относительное сужение ( $\psi$ ) и модуль упругости ( $E$ ). Эти характеристики дают разностороннее представление о механических свойствах металла.

При длительной эксплуатации детали машин подвергаются повторно–переменным нагрузкам (растяжение–сжатие). При напряжениях, меньших предела текучести или предела упругости, они могут внезапно разрушиться. Это явление называется *усталостью металлов*.

Способность металлов работать в условиях многократных повторно- или знакопеременных нагрузок, определяют их предел выносливости (или усталости). Пределом выносливости (усталости) называют максимальное напряжение, которое выдерживает материал, не разрушаясь при достаточно большом числе повторно–переменных нагружений (циклов).

Для стальных образцов эту характеристику устанавливают при 10 млн. циклов, для цветных металлов – при 100 млн. циклов. Предел выносливости обозначают греческой буквой  $\sigma_{-1}$  и измеряют в Па.

На основании опытных данных установлена зависимость предела выносливости от других прочностных характеристик, например:

$$\sigma_{-1} = (0,49 \pm 0,13) \sigma_b;$$

$$\sigma_{-1} = 0,75 \sigma_e.$$

По этим формулам можно найти приближенное значение предела выносливости, так как усталость металлов в большой степени зависит от состояния поверхности изделия. Плохо обработанная поверхность, наличие рисок, надрезов, коррозия резко снижают предел выносливости, так как являются концентраторами напряжений. Именно в тех местах, где имеются эти дефекты, возникают начальные микротрещины, снижающие долговечность детали.

## 5.1.2. ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРИАЛОВ

**Жаропрочность.** В процессе работы многие детали машин нагреваются до высоких температур, достигающих 1000 °С и более. Для таких деталей важной характеристикой является жаропрочность – способность материалов сохранять необходимую прочность для сохранения своих параметров при высоких температурах.

Характеристики, которые определяют при обычных испытаниях, не дают представления о возможности использования материалов при повышенных и высоких температурах. Это объясняется двумя причинами. Во–первых, с повышением температуры числовые значения предела прочности и предела текучести понижаются, что видно из рис. 5.3. Во–вторых, при повышенных температурах важное значение имеет продолжительность испытаний. Дело в том, что у металлов и сплавов, работающих длительное время под нагрузкой при высоких температурах, наблюдается явление *ползучести*, т. е. непрерыв-

ная пластическая деформация под действием постоянной нагрузки (металл «ползет»). При работе под нагрузкой в обычных производственных условиях при умеренной температуре (до 25 °С) ползучесть у большинства металлов отсутствует.

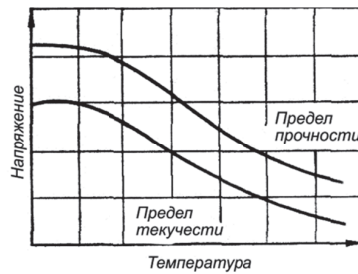


Рис. 5.3. Зависимость предела прочности и текучести от температуры

Жаропрочность металлов и сплавов характеризуют три показателя: предел кратковременной прочности, предел длительной прочности и предел ползучести.

*Предел кратковременной прочности* ( $\sigma_s$ ) определяют, как и при обычных испытаниях, но с нагревом образца до заданной температуры. Эта характеристика служит для расчета на прочность деталей, работающих весьма непродолжительное время (секунды, минуты при высоких температурах). Длительную прочность устанавливают для деталей, работающих при высоких температурах.

*Пределом длительной прочности* называют напряжение, вызывающее разрушение образца при данной температуре через конкретный промежуток времени. Например, предел длительной прочности  $\sigma_{\frac{600^0}{100}} = 250 \text{ МПа}$  (25 кгс/мм<sup>2</sup>) означает, что при температуре 600° напряжение 250 МПа вызывает разрушение образца через 100 ч.

Для деталей, работающих при высоких температурах в течение очень длительного времени устанавливают *предел ползучести*. Для этого проводят соответствующие испытания, записывая диаграмму ползучести (рис. 5.4).

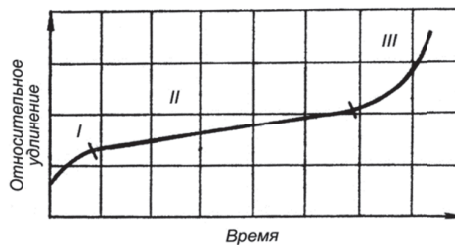


Рис. 5.4. Диаграмма ползучести

Диаграмма ползучести состоит трех участков, адекватных трем стадиям ползучести. На участке *I* ползучесть протекает с постепенно уменьшающейся скоростью (кривая постепенно становится пологой). Здесь преобладает упрочнение металла от наклепа вследствие растяжения над разупрочнением от действия высокой температуры. На участке *II* (прямая линия) ползучесть происходит с постоянной скоростью – упрочнение уравнивается разупрочнением. На участке *III* (кривая круто поднимается вверх) разупрочнение начинает преобладать над упрочнением, ползучесть происходит со все более увеличивающейся скоростью, что приводит к разрушению металла. При высокой температуре детали машин должны работать в условиях, соответствующих участку *II*. Длительность работы на участке *II* может быть разной: от 1000 ч (41,7 дня) до 100 тыс. ч (около 11,4 года). За это время металл не должен удлиняться более чем на  $\alpha$  %. Величину  $\alpha$  задают в пределах от 0,1 до 1%.

Таким образом, *пределом ползучести* называют напряжение, которое за конкретный промежуток времени при данной температуре вызывает заданное удлинение (например, 1%). При расчете предела ползучести необходимо знать температуру испытания, величину деформации, нагрузку и время ее действия.

Например, предел ползучести составляет  $\sigma_{\frac{600^0}{1/1000}} = 200 \text{ МПа}$ . Это означает, что для удлинения образца на 1% за 1000 ч при температуре 600 °С предел ползучести должен быть равен 200 МПа. Если увеличить напряжение, то суммарная деформация возрастет (будет выше 1%).

**Твердость** – характеристика механических свойств металла, влияющих на прочность и износостойкость поверхностей деталей и, в конечном счете, на габариты, вес и на долговечность машины или механизма.

*Твердость* определяют глубиной проникновения под действием определенной нагрузки в поверхность металла наконечника прибора, имеющего форму шарика, конуса, пирамиды или иглы и изготовленного из малодеформирующегося материала (твердая закаленная сталь, алмаз, сапфир или твердый сплав).

Твердость можно оценить методом сравнения. Например, зная твердость напильника или наконечника пробуют снять стружку или поцарапать испытываемую поверхность, ударом по шарикку подшипника получить отпечаток на испытываемой поверхности и др.

В приборах для измерения твердости металлов наибольшее распространение получило измерение твердости вдавливанием. В результате вдавливания с достаточно большой нагрузкой поверхностные слои металла, находящиеся под наконечником и вблизи него, пластически деформируются. После снятия нагрузки остается отпечаток. Особенность происходящей при этом деформации заключается в том, что она протекает в небольшом объеме, окруженном недеформированным металлом. Пластическую деформацию при вдавливании могут испытывать не только пластичные, но и хрупкие металлы (например, чугун), которые при обычных механических испытаниях (на растяжение, сжатие, кручение, изгиб) разрушаются хрупко почти без макроскопически заметной пластической деформации. Таким образом, твердость, характеризующая со-

противление пластической деформации, представляет собой механическое свойство металла, отличающееся способом измерения от других его механических свойств.

1. При испытании на твердость можно определять количественную зависимость между твердостью пластичных металлов, установленной путем вдавливания и другими механическими свойствами (главным образом пределом прочности).

Указанная количественная зависимость обычно не наблюдается для хрупких материалов, которые при испытаниях на растяжение (сжатие, изгиб, кручение) разрушаются без заметной пластической деформации, а при измерении твердости получают пластическую деформацию. Однако в ряде случаев и для этих материалов (например, серых чугунов) можно установить эту зависимость (возрастанию твердости обычно соответствует увеличение предела прочности на сжатие). По знаниям твердости определяются некоторые пластические свойства металлов.

Твердость, установленная вдавливанием, характеризует также предел выносливости некоторых металлов, в частности, меди, дюралюминия и сталей в отожженном состоянии.

2. Измерить твердость значительно проще, чем определить прочность, пластичность и вязкость. Испытания на твердость не требуют изготовления специальных образцов и выполняются прямо на деталях после зачистки их поверхности (создание ровной горизонтальной площадки), а иногда даже и без предварительной подготовки. Для проведения этих испытаний не требуется много времени. Так, вдавливание конуса выполняется за 30–60 с, вдавливание шарика – за 1–3 мин.

3. Измерение твердости обычно не влечет разрушения проверяемой детали, которая после испытаний может использоваться по своему назначению, в то время как для определения прочности, пластичности и вязкости приходится изготавливать специальные образцы.

4. Твердость можно измерять на деталях небольшой толщины, а также в очень тонких слоях, не превышающих иногда десятых долей миллиметра, или в микрообъемах металла (измерения микротвердости). Поэтому путем измерения твердости можно оценивать различные по структуре и свойствам слои металла, например поверхностный слой цементированной, азотированной или закаленной стали, имеющей разную твердость по сечению детали. Путем определения микротвердости можно измерить твердость отдельных структурных составляющих в сплавах.

Для получения полной характеристики свойств металла не исключается необходимость наряду с измерением твердости проведения других механических испытаний. Поскольку измерения твердости в большинстве случаев не влекут за собой разрушения деталей, их можно выполнять при сплошном контроле, в то время как при определении прочности и пластичности проводят выборочный контроль деталей.

Способом вдавливания определяют твердость (макротвердость) и микротвердость. При измерении твердости (макротвердости) в исследуемый материал вдавливают тело, проникающее на сравнительно большую глубину, зависящую от величины прилагаемой нагрузки и свойств металла. Часто вдавливаемое тело имеет значительные размеры (например, стальной шарик диаметром 10 мм), в результате чего в деформируемом объеме оказываются представляемыми все фазы и структурные составляющие сплава, количество и расположение которых характерны для измеряемого материала. Измеренная твердость в этом случае будет характеризовать твердость всего испытываемого материала.

Выбор формы и размеров наконечника, а также величины нагрузки зависит от целей исследования, структуры, ожидаемых свойств, состояния поверхности и размеров испытываемого образца. Если металл имеет гетерогенную структуру с крупными выделениями отдельных структурных составляющих, различных по свойствам (например, серый чугун, цветные подшипниковые сплавы), то для испытания твердости следует использовать шарик сравнительно большего диаметра. Если металл обладает сравнительно мелкой и однородной структурой, то малые по объему участки могут быть достаточно характерными для оценки свойств металла в целом и, в частности, его твердости. В таком случае испытания можно проводить вдавливанием тела небольшого размера (например, алмазного конуса или пирамиды) на значительную глубину при небольшой нагрузке. Подобные испытания рекомендуют для металлов с высокой твердостью, например закаленной или низкоотпущенной стали, поскольку вдавливание стального шарика или алмаза с большой нагрузкой может вызвать деформацию шарика или скалывание алмаза. Вместе с тем значительное снижение нагрузки нежелательно, так как это может привести к резкому уменьшению формируемого объема, тогда полученные значения твердости не будут характерными для основной массы металла. Поэтому величины нагрузок и размеры отпечатков на металле не должны быть меньше некоторых пределов.

*Микротвердость* измеряют с целью определения твердости отдельных зерен, фаз и структурных составляющих сплава, а также свойств очень малых по размерам деталей. В данном случае объем металла, деформируемого вдавливанием, должен быть меньше объема (площади) измеряемого зерна. Прилагаемая нагрузка не должна поэтому превышать 0,05 МПа.

Измерение твердости полимерных материалов дадут меньше информации об их свойствах, так как между твердостью и прочностью этих материалов нет определенной зависимости. Результаты таких измерений служат лишь дополнительной характеристикой свойств указанных материалов.

Значительное влияние на результаты испытаний твердости оказывает состояние поверхности исследуемого материала. Если поверхность неровная – криволинейная или с выступами, то отдельные участки в различной степени сопротивляются вдавливанию и деформации, что приводит к ошибкам в измерении. Чем меньше нагрузка, применяемая при вдавливании, тем более тщательно должна быть подготовлена поверхность.

При измерении твердости это должна быть шлифованная горизонтальная площадка, а при измерении микротвердости – полированная поверхность (в этом случае при изготовлении шлифа (образца) нельзя допускать наклепа в поверхностном слое). Измеряемую поверхность устанавливают горизонтально, т. е. перпендикулярно действию вдавливаемого тела. Противоположную сторону образца зачищают, так как при нагружении образца она сминается, что искажает результаты измерений.

На основе вышеизложенных принципов выполнены приборы для измерения твердости материалов.

**Метод Бринелля** используют для определения твердости как *металлов*, так и *полимерных материалов*. Измерения осуществляют с помощью шарикового твердомера. Образец (деталь) устанавливают на столике 3 в нижней части неподвижной станины пресса (рис. 5.5), зачищенной поверхностью вверх. Поворотом вручную маховика 5 по часовой стрелке столик поднимают до упора. Нажимают кнопку 4 и включают двигатель 6, который перемещает кривошип 8 и постепенно нагружает шток 1. Под действием нагрузки, сообщаемой подвешенным к рычагу 10 грузом 9, шарик 2 вдавливается в образец. Нагрузка действует в течение определенного времени (10–60 с) в зависимости от твердости измеряемого материала, после чего вал двигателя, вращаясь в обратную сторону, перемещает кривошип и снимает нагрузку. После автоматического выключения двигателя поворотом маховика 5 против часовой стрелки опускают столик прибора и снимают образец. Время приложения нагрузки регулируется по шкале 7 реле двигателя. После испытания на образце остается отпечаток (лунка).

Диаметр отпечатка измеряют лупой, на окуляре которой имеется шкала с ценой делений от 0,05 до 0,1 мм. Диаметр отпечатка измеряют с точностью до 0,05 мм (при вдавливании шарика диаметром 5–10 мм). Измерения выполняют в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Показателем твердости будет средняя из полученных величин.

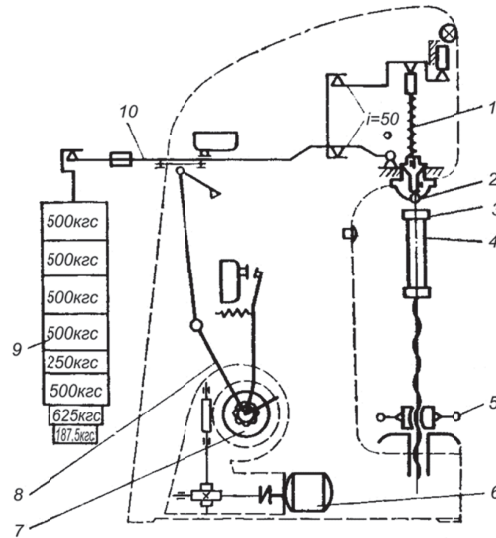


Рис. 5.5. Схема прибора Бринелля

При измерении твердости поверхностей крупных деталей (направляющие чугуновых станин) используют переносную лупу. Отпечатки на поверхности деталей образуются шариком, по которому в приспособлении производится тарированный удар.

**Твердость по Бринеллю (НВ)** – отношение нагрузки, действующей на шарик, к поверхности отпечатка:

$$HB = \frac{P}{F} = \frac{P}{0,5\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})},$$

где  $P$  – нагрузка, действующая на шарик, кгс;  $F$  – поверхность отпечатка, мм<sup>2</sup>;  $D$  – диаметр вдавливаемого шарика, мм;  $d$  – диаметр отпечатка, мм.

При прочих равных условиях диаметр отпечатка  $d$  зависит от твердости металла. Чем выше твердость испытуемого металла, тем меньше диаметр отпечатка. Твердость измеряют при постоянном соотношении между величиной нагрузки  $P$  и квадратом диаметра шарика  $D^2$ . Это соотношение должно быть различным для металлов разной твердости.

Испытания вдавливанием шарика проводят с металлами небольшой и средней твердости (например, твердость стали должна быть не более 450 НВ).

Для измерения твердости поверхностей более 350 НВ применяют приборы, которые производят измерение твердости по глубине пирамидального отпечатка – метод Виккерса.

**Твердость по Виккерсу** – отношение нагрузки на стандартную пирамиду при вдавливании ее вершины в исследуемый материал к площади поверхности пирамидального отпечатка.

$$HV = \frac{P}{F} = 1,8544 \frac{P}{D^2},$$

где  $D$  – диагональ отпечатка.

Для измерения твердости поверхностей более 350 НВ применяют приборы, которые производят измерение твердости по глубине отпечатка, получаемого при вдавливании алмазного конуса или стального шарика – метод Роквелла.

**Твердость по Роквеллу** – условная характеристика, значение которой отсчитывается по шкале прибора для измерения твердости.

Этот метод позволяет изменять нагрузку в широких пределах без изменения значений твердости. Прибор (рис. 5.6) для измерения твердости по Роквеллу имеет столик 4, установленный в нижней части неподвижно станины. В верхней части станины укреплены индикатор 8 и шпиндельный узел 7, в котором имеется наконечник с алмазным конусом б (с углом при вершине 120°) или со стальным шариком диаметром 1,59 мм. На индикаторе 8 нанесены две шкалы (черная и красная) и имеются две стрелки – большая (указатель твердости), вращающаяся по шкале, и маленькая, по которой устанавливается величина предварительной нагрузки, сообщаемой вращением маховика 3.

Плоская поверхность испытуемого образца, в которую вдавливаются конус или шарик, должна быть тщательно отшлифована. Противоположная параллельная поверхность также должна быть ровной, зачищенной. Поворотом маховика 3 по часовой стрелке поднимают столик 4 таким образом, чтобы наконечник мог вдавливаться в поверхность установленного образца.

При дальнейшем подъеме столика приходят в движение стрелки на индикаторе. Подъем столика продолжают до тех пор, пока малая стрелка не примет вертикальное положение (красная точка на индикаторе). Это означает, что наконечник вдавился в образец под действием предварительной нагрузки, равной 100 Н (10 кгс). Предварительное нагружение проводят для того, чтобы исключить влияние упругой деформации и шероховатости поверхности образца на результаты измерений.



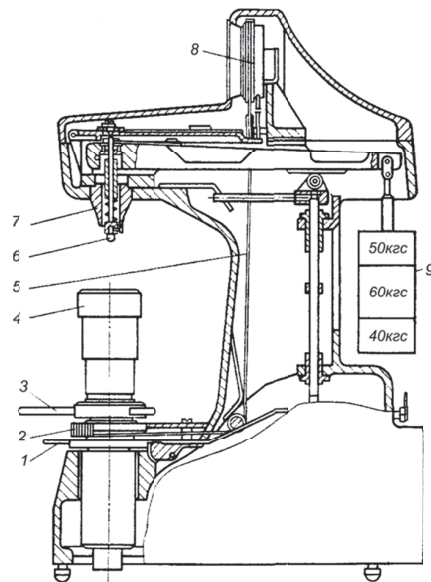


Рис. 5.6. Схема прибора Роквелла

Когда образец получит предварительную нагрузку, равную 100 Н, большая стрелка на индикаторе примет вертикальное или близкое к нему положение. Для обеспечения точности измерения необходимо, чтобы большая стрелка совпала с нулем на черной шкале индикатора. Если большая стрелка не совпадает с нулем, не меняя величину предварительного нагружения и, следовательно, не вращая маховик, поворачивают шкалу (круг) индикатора барабаном 2 через тросик 5 таким образом, чтобы нуль на черной шкале индикатора совпал с большой стрелкой. Отклонение стрелки от вертикали допускаются в пределах  $\pm 5$  единиц шкалы.

Плавным движением нажимают клавишу 1, которая приводит в действие привод механизма приложения основной нагрузки, определяемой грузом 9. Один груз на рычаге сообщает образцу дополнительную нагрузку 500 Н (50 кгс), следовательно, общая нагрузка составит 600 Н (60 кгс), два груза – 900 Н (90 кгс) при общей нагрузке 1000 Н (100 кгс), три груза – 1400 Н (140 кгс) при общей нагрузке 1500 Н (150 кгс). На приборе указана общая нагрузка. При приложении нагрузки большая стрелка перемещается по шкале влево, против часовой стрелки. Время приложения основной нагрузки – 5–7 с. Стрелка возвращается в обратную сторону автоматически при снятии основной нагрузки (предварительная нагрузка остается). Цифра, которую указывает на шкале индикатора большая стрелка, является показателем твердости по Роквеллу. Записав эту цифру, поворачивают маховик против часовой стрелки, опускают столик прибора с образцом и снимают тем самым предварительную нагрузку.

Для каждой детали рекомендуется проводить не менее трех испытаний. С помощью прибора измеряют глубину отпечатка от алмазного конуса (стального шарика) или, точнее, разность между глубинами отпечатков, полученных от вдавливания наконечника под действием основной и предварительной нагрузок. Твердость по Роквеллу возрастает с увеличением твердости материала, что позволяет сравнивать показатели твердости по Роквеллу и по Бринеллю. Вместе с тем, твердость по Роквеллу не имеет той размерности и того физического смысла, который имеет твердость по Бринеллю.

Однако показатель твердости по Роквеллу можно пересчитать на показатель твердости по Бринеллю с помощью диаграммы (рис. 5.7) или таблиц, построенных на основании многочисленных экспериментальных работ.

Твердость по Роквеллу можно измерять алмазным конусом с общей нагрузкой 1500 Н (150 кгс); в этом случае значение твердости характеризуется цифрой, на которую указывает стрелка на черной шкале С индикатора; твердость обозначается HRC; например, 65 HRC означает, что твердость материала составляет 65 единиц по Роквеллу по шкале С с нагрузкой 1500 Н (150 кгс).

Алмазным конусом с нагрузкой 1500 Н (150 кгс, HRC) измеряют твердость: закаленной или низкоотпущенной стали (твердостью более 450 НВ), т. е. в условиях, когда вдавливание стального шарика (по Бринеллю или Роквеллу) в твердый материал может вызвать деформацию шарика и искажение результатов; материалов средней твердости (более 230 НВ), так как испытание алмазным конусом осуществляется быстро и приводит к меньшему изменению измеряемой поверхности, чем при испытании по Бринеллю; тонких поверхностных слоев, но толщиной более 0,5 мм (например, цементированного слоя).

Твердость по Роквеллу также можно измерять алмазным конусом с общей нагрузкой 600 Н (60 кгс); в этом случае значение твердости также характеризуется цифрой, на которую указывает стрелка на черной шкале С индикатора, но твердость обозначается HRA; твердость HRA можно перевести в твердость по HRC по формуле:  $HRC = 2 HRA - 104$ .

Алмазным конусом с нагрузкой 600 Н (60 кгс, HRA) измеряют твердость очень твердых металлов (более 70 HRC), например твердых сплавов, когда вдавливание алмазного конуса с большей нагрузкой может вызвать выкрашивание алмаза, также твердых поверхностных слоев (0,3–0,5 мм) и тонких образцов (пластинок).

Твердость по Роквеллу также можно измерять стальным шариком с общей нагрузкой 1000 Н (100 кгс); в этом случае значение твердости характеризуется цифрой, на которую указывает стрелка на красной шкале В индикатора; твердость обозначается HRB.

Стальным шариком с нагрузкой 1000 Н (100 кгс, HRB) определяют твердость мягкой (отожженной) стали или отожженных цветных сплавов в деталях или образцах толщиной 0,8–2 мм, т. е. в условиях, когда измерение твердости по Бринеллю, выполняемое шариком большего диаметра, может вызвать смятие образца.

Выбор шкалы (А, В или С) производится по табл. 5.1. Расстояние от центра отпечатка до края образца или до центра другого отпечатка должно быть не менее 1,5 мм при вдавливании конуса и не менее 4 мм при вдавливании шарика, толщина образца – не менее 10–кратной глубины отпечатка.



| Примерная твердость |                | Обозначение шкалы прибора для испытания по Роквеллу | Тип наконечника | Нагрузка, кгс | Допускаемые пределы измерения твердости по шкале Роквелла |
|---------------------|----------------|---|-----------------|---------------|---|
| по Бринеллю HB      | по Виккерсу HV |   |                 |               |   |
| До 240              | 60–240         | B   | Стальной шарик  | 100           | 25–100  |
| 240–670             | 240–900        | C   | Алмазный конус  | 150           | 20–67   |
| 375–670             | 390–900        | A   | »               | 60            | 70–85   |

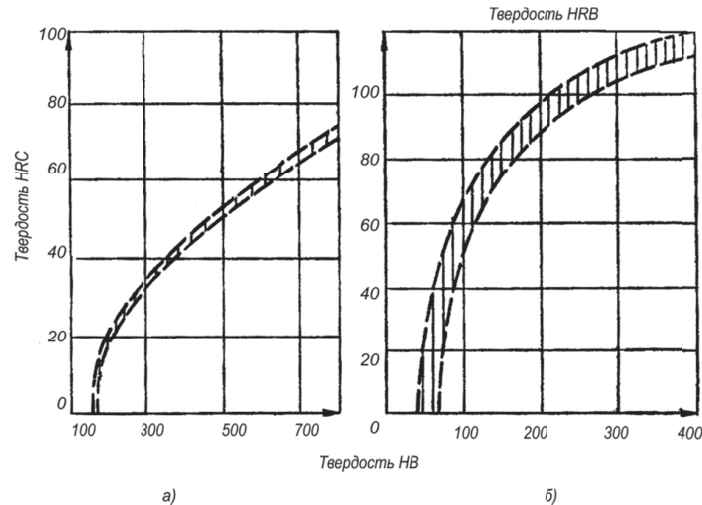


Рис. 5.7. Диаграммы соотношения твердости по Бринеллю и Роквеллу: а – при вдавливании алмазного конуса; б – при вдавливании стального шарика

Твердость следует измерять не менее чем в трех точках (особенно алмазным конусом), т. е. не менее трех раз на одном образце. Для расчета лучше принимать среднее значение результатов второго и третьего измерений и не учитывать результат первого измерения. Для определения твердости по Роквеллу требуется меньше времени (30–60 с), чем по Бринеллю, причем результат измерения виден на шкале (указан стрелкой). При измерении твердости по Роквеллу остается меньший отпечаток на поверхности детали. Твердость очень тонких слоев металла (толщиной менее 0,3 мм) при нагрузках 600 и 1500 Н (60 и 150 кгс) измерять нельзя, так как алмазный конус проникает на глубину, превышающую толщину этих слоев. Вместе с тем, с увеличением твердости измеряемого материала глубина отпечатка уменьшается, вследствие чего снижается точность измерения (особенно металлов твердостью более 60 HRC). Для этих целей иногда применяют приборы типа суперроквелл, с помощью которых измеряют твердость при меньшей нагрузке и с меньшей глубиной вдавливания. Предварительная нагрузка при этом составляет 30 Н (3 кгс). Каждое деление шкалы индикатора такого прибора соответствует глубине вдавливания, равной 1 мкм. Поэтому чувствительность данного прибора заметно выше.

Перевод коэффициентов твердости HB, HRC и HRC<sub>30</sub> для конструкционной стали приведен в главе 1, табл. 1.10.

**Твердость по Шору** определяют по показаниям шкалы, полученным в результате проникновения в образец определенного стального стержня. Эта твердость измеряется приборами двух типов, оба из которых имеют калиброванные пружины для приложения нагрузки к наконечнику. Прибор А применяется для более мягких материалов, а прибор Б – для более твердых. Форма и размеры наконечников показаны на рис. 5.8.

Образец размещают на столе прибора, нажимную опору прижимают к образцу и через 15 с считывают показания шкалы индикатора.

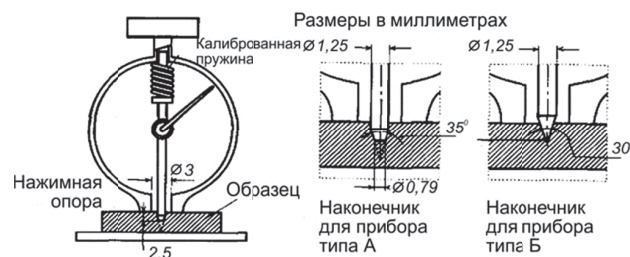


Рис. 5.8. Принципы измерения твердости склероскопом

Показания шкалы представлены в виде единиц от 0 до 100 для полного проникновения на глубину 2,5 мм.

Значения твердостей по Шору (HSh) изменяются: от 10 до 90 для склероскопа Шора типа А – мягкие материалы, от 90 до 90 для склероскопа Шора типа Б – твердые материалы. Если измеренные значения > 90 А, то материал слишком тверд, и должен применяться склероскоп Б. Если измеренные значения < 20 Б, то материал слишком мягок, и должен применяться склероскоп А. Не существует никакой простой зависимости между твердостью, измеренной с помощью этого метода испытаний, и другими основными свойствами испытуемого материала.

Перевод коэффициентов твердости HSh по шкале Шора в коэффициенты твердости HB приведен в главе 1, табл. 1.11.

**Ударная вязкость.** Ударной вязкостью называют отношение работы ударного разрушения образца к площади его поперечного сечения в месте надреза. Ударная вязкость измеряется в Дж/м<sup>2</sup> (кгс-м/см<sup>2</sup>). На рис. 5.9, а показан образец с надрезом. Размеры образца, форма надреза и способ обработки места надреза оказывают большое влияние на результаты измерения ударной вязкости. Надрезы следует выполнять в твердых металлах абразивом, а в мягких – фасонной фрезой с дополнительным шлифованием или доводкой дна надреза. Результаты измерений зависят также от направления волокон металла, поэтому место надреза образца и его положение по отношению к направлению деформации при прокатке, ковке или штамповке, в частности вдоль прокатки (продольные образцы), поперек прокатки (поперечные образцы) или в радиальном направлении, определяют по техническим условиям.

Ударная вязкость определяется с помощью копров (рис. 5.9, б). Разрушение образца осуществляется маятником, свободно качающимся в опорах и имеющим нож определенной формы и размеров. Образец устанавливают на нижние опоры копра симметрично опорам, т. е. так, чтобы надрез был обращен в сторону, противоположную направлению удара. Маятник поднимают в верхнее положение и закрепляют посредством защелки. В таком положении маятник обладает потенциальной энергией  $Ph_1$ , где  $P$  – масса маятника;  $h_1$  – высота подъема. Затем маятник опускают. При падении он разрушает образец, после чего поднимается на некоторую высоту  $h_2$ , обладая при этом энергией  $Ph_2$ , меньшей энергии  $Ph_1$ . Разность между  $Ph_1$  и  $Ph_2$  определяет работу, затраченную на разрушение образца. Стрелка, установленная на станине копра, захватывается маятником и указывает на шкале подъем маятника после разрушения образца. Работа разрушения  $A_n$  устанавливается по формуле

$$A_n = Pl(\cos \beta - \cos \alpha),$$

где  $l$  – расстояние от оси маятника до его центра тяжести;  
 $\alpha$  и  $\beta$  – углы подъема маятника соответственно до и после разрушения.

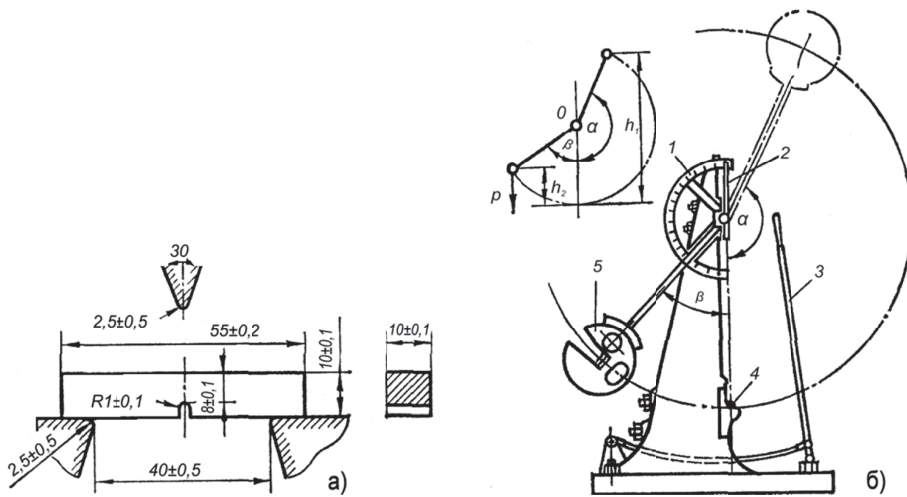


Рис. 5.9. Схема испытания на ударную вязкость:

- а – размеры образца и схема направления и положения ножа маятника;  
 б – схема работы маятникового копра;  
 1 – шкала; 2 – стрелка; 3 – тормоз; 4 – образец; 5 – маятник

Угол  $\alpha$  принимают постоянным, поэтому стрелку перед началом испытания переводят по шкале в положение, соответствующее нулю градусов. Весь расчет работы разрушения можно не проводить, так как копер снабжен таблицей, в которой против каждой величины угла указаны соответствующие значения  $A_n$ . Чем меньше работа разрушения  $A_n$ , тем более точными должны быть измерения. Поэтому для образцов, требующих небольшую работу разрушения, следует применять менее мощный копер. Удобными для испытания являются маятниковые копры, у которых можно изменять высоту подъема маятника и тем самым регулировать энергию удара.

Зная работу разрушения  $A_n$ , можно найти величину ударной вязкости  $a_n$  образца с надрезом:

$$a_n = \frac{A_n}{F},$$

где  $F$  – площадь поперечного сечения образца в месте надреза, в м<sup>2</sup>.

В приведенной формуле работа разрушения  $A_n$  отнесена к площади поперечного сечения образца в месте надреза. Между тем, удар маятника воспринимается не площадью сечения образца, а определенным объемом вокруг места надреза, в котором происходит деформация. Чем больше этот деформируемый объем, тем выше способность металла рассредоточивать деформацию и тем больше величина ударной вязкости.

Ударная вязкость снижается при повышении прочностных свойств металла (если одновременно ухудшается пластичность). Для более хрупких металлов при испытании используют образцы без надреза, тогда ударную вязкость обозначают через  $a_{б.н}$ . Ударная вязкость значительно изменяется при понижении температуры (в условиях, когда вязкое разрушение становится хрупким). Поэтому испытания на ударную вязкость используют для определения хладноломкости, т. е. перехода детали из вязкого в хрупкое состояние при пониженных температурах.

При исследовании вязкости металла в условиях динамического нагружения ограничиваются выявлением величины общей работы ударного разрушения, т. е. сопротивления к образованию и развитию трещины. Работа разрушения определяется работой, затрачиваемой на образование минимальной трещины ( $A_3$ ), и работой по ее распространению ( $A_p$ ). Для более полной и надежной характеристики поведения металла в условиях динамического нагружения во многих случаях надо знать эти отдельные составляющие общей работы разрушения.

Основные физические характеристики материалов следующие:

*плотность* – отношение массы вещества  $M$  к его объему  $V$ :

$$\gamma = \frac{M}{V},$$

*температура плавления  $t_{пл}$*  – температура превращения твердого вещества в жидкое;

*теплопроводность  $\lambda$*  – процесс распространения тепла в неравномерно нагретом теле, обусловленный передачей энергии слоям между непосредственно соприкасающимися частями тела и не зависящий от движения тела или частей его.

$$\lambda = \frac{Ql}{F(t_1 - t_2)\tau},$$

где  $Q$  – количество теплоты, проходящей через пластинку материала,  $l$  – толщина пластинки,  $F$  – площадь пластинки,  $(t_1 - t_2)$  – разность температур на ее сторонах и  $\tau$  – время.

*Коэффициент линейного расширения  $\alpha$*  – линейная деформация материала при изменении температуры на  $1^\circ\text{C}$ .

### 5.1.3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ

*Технологические свойства металлов* – это часть общих их физико-химических свойств. Знание этих свойств позволяет более обоснованно проектировать и изготавливать изделия с улучшенными для данного металла (сплава) качественными показателями.

Основные технологические свойства материалов следующие:

*Обрабатываемость резанием* – свойство металла или сплава обрабатываться резцом или абразивом. Обрабатываемость металла резанием оценивают скоростью затупления резца при точении на заданных режимах резания с обеспечением заданных параметров шероховатости поверхности и выражается в процентах от обрабатываемости стали повышенной обрабатываемости резанием или свинцовистой латуни соответственно для сталей или медных сплавов.

*Обрабатываемость давлением* в горячем и холодном состоянии оценивают различными технологическими пробами (на осадку, на изгиб, на вытяжку сферической лунки и др.), характеристиками пластичности, твердости и упрочнения материала при температуре обработки.

*Свариваемость* – способность металлов и сплавов образовывать неразъемные соединения с требуемыми механическими характеристиками; ее оценивают сравнением свойств сварных соединений со свойствами основного металла или сплава; свариваемость считается тем выше, чем больше способов сварки может быть применено, шире пределы допускаемых режимов сварки; для оценки технологической свариваемости определяют структуру, механические свойства и склонность к образованию трещин металла шва в зоне шва.

*Литейные свойства* определяются совокупностью показателей (температурами плавления, кипения, заливки и кристаллизации; плотностью и жидкотекучестью расплава; литейной усадкой и др.).

*Жидкотекучесть* – это способность металла заполнить литейную форму. Она зависит от вязкости, поверхностного натяжения и температуры заливки расплава. Чем выше жидкотекучесть расплава, тем легче заполнять сложную литейную форму.

*Усадка* – это разница между линейными размерами модели и отливки. Чем меньше усадка металла, тем меньше его склонность к образованию усадочных раковин.

*Пластичность или деформируемость* – способность металла изменять форму при гибке, ковке, штамповке и прессовании без нарушения целостности материала заготовки.

Оптимальные показатели позволяют получить детали без внутренних и внешних дефектов.

*Упрочняемость металлов и сплавов* определяются способностью материала приобретать более высокую прочность после термической или механической обработки.

Механические свойства металлов и сплавов в основном предопределяются их структурным строением. По структурному строению детали можно судить о ее качестве, выяснить условия предварительной обработки (литье, обработка давлением, сварка, термическая или химико-термическая обработка).

Металлы и сплавы при одном и том же химическом составе могут иметь различное структурное строение в зависимости от применяемых методов и режимов термической и механической обработки. Различают макро- и микроструктуру металлов.

*Качество металла* оценивают путем сравнения протравленных образцов с эталоном на наличие ликвации – неоднородности отдельных участков металла по химическому составу, структуре, неметаллическим и газовым включениям; подкорковых пузырей – мелких пустот, расположенных вблизи поверхности или на поверхности заготовки; монокристаллических трещин – тонким извилистым полоскам от оси заготовки; послонной кристаллизации – чередующихся слоев металла в виде узких светлых и темных полос и по другим показателям качества.

## 5.2. ТЕОРИЯ СПЛАВОВ. ОСНОВЫ

Чистые металлы относительно редко применяют в машиностроении, так как не обеспечивают необходимого комплекса механических и технологических свойств изготавливаемых из них деталей. Широко используют сплавы, состоящие из двух и более элементов (из двух металлов, например меди и цинка, или из металла и неметалла, например железа и углерода).

Элементы, входящие в сплав, называют *компонентами*.

Сплавы получают сплавлением компонентов, спеканием, электролизом и возгонкой. Компоненты, входящие в сплав, в жидком состоянии почти всегда растворяются друг в друге, образуя жидкий раствор. Атомы такого раствора равномерно перемешаны друг с другом. Свойства сплавов зависят главным образом от взаимодействия компонентов при затвердевании. При затвердевании сплавов образуется твердый раствор, химическое соединение или механическая смесь.

**Твердый раствор.** При переходе в твердое состояние в сплавах сохраняется однородность распределения атомов различных компонентов, а следовательно и свойство растворимости. При кристаллизации сплава атомы компонентов входят в единую ячейку кристаллической решетки, поэтому получаются однородные и одинаковые по составу зерна. Твердый раствор, как и

чистый металл, имеет однообразную кристаллическую решетку. В кристаллической решетке чистого металла все узлы заняты атомами одного компонента, а в решетке твердого раствора – атомами компонентов, составляющих сплав. В твердых растворах растворимость компонентов не ограничена при любом их количественном соотношении (медь с никелем).

Свойства сплавов, образующих твердые растворы, изменяются плавно и отличаются от свойств компонентов, из которых они состоят. Они отличаются ценными свойствами. Они тверже и прочнее, чем входящие в них компоненты, обладают хорошей пластичностью, высоким электросопротивлением, не изменяющимся при изменении температуры, повышенным сопротивлением к коррозии. Благодаря высокой пластичности такие сплавы хорошо обрабатываются давлением.

**Химическое соединение.** Компоненты некоторых сплавов при кристаллизации могут входить в химическую связь, образуя химическое соединение. Например, железо с углеродом образуют химическое соединение  $Fe_3C$  – карбид железа (цементит); медь с магнием –  $Cu_2Mg$ ; магний со свинцом –  $Mg_2Pb$  и др.

Химическое соединение, как и твердый раствор, обладает однородной структурой. Кристаллическая решетка его включает атомы обоих компонентов. Однако в кристаллической решетке химического соединения, в отличие от твердого раствора, атомы каждого компонента находятся в строго определенном количестве и расположены всегда одинаково. Например, химическое соединение железа с углеродом  $Fe_3C$  всегда состоит из трех атомов железа и одного атома углерода, соединение  $Mg_2Pb$  всегда имеет два атома магния и один атом свинца. Таким образом, химическое соединение имеет постоянный состав и выражается химической формулой, а состав твердых растворов изменяется в широких пределах, твердый раствор не может быть выражен химической формулой. Кристаллическая решетка химического соединения отличается от решеток входящих в него компонентов, поэтому при образовании сплава оно рассматривается как самостоятельный компонент. Например, сталь – сплав, одним компонентом которого является железо, а другим – химическое соединение  $Fe_3C$  (цементит).

Химические соединения обладают очень высокой твердостью и хорошим электросопротивлением. Иногда их твердость в 10 раз превышает твердость чистых компонентов. Так, например, железо с углеродом образует химическое соединение  $Fe_3C$ , твердость которого в 10 раз выше твердости железа. Химические соединения вольфрама и титана с углеродом (карбиды), отличающиеся очень высокой твердостью, используются для изготовления режущих инструментов. В отличие от твердых растворов химические соединения характеризуются высокой хрупкостью, для обработки давлением они непригодны.

**Механическая смесь.** Отдельные компоненты в твердом состоянии не растворяются друг в друге (с образованием твердого раствора) и не входят между собой в химическую реакцию (с образованием химического соединения). При кристаллизации у каждого из таких компонентов создается своя, свойственная только ему одному кристаллическая решетка. Перемешиваясь друг с другом при постоянной температуре и определенном процентном соотношении, они образуют механическую смесь, в которой при рассмотрении под микроскопом видны отдельные компоненты. Так, механическая смесь  $Pb - Sb$  образуется при температуре  $246^\circ C$  и соотношении компонентов:  $Pb - 87\%$ ,  $Sb - 13\%$ .

Механические смеси имеют хорошие литейные свойства. Особенно это относится к эвтектическим сплавам, которые обладают большей жидкотекучестью и меньшей температурой плавления, чем составляющие их компоненты.

Знание строения сплавов облегчает их выбор при изготовлении деталей машин и разработке технологических процессов. При изучении процессов, происходящих в металлах и сплавах в случае изменения их температуры и состава, пользуются такими понятиями, как компонент, система, фаза.

**Системой** в термодинамике называют совокупность веществ или тел, между которыми может беспрепятственно проходить обмен энергией и массой. В качестве системы может выступать химический элемент (сера, алюминий, водород), химическое соединение ( $Fe_3C$ , вода, поваренная соль), сплав двух и более металлов (медь–никель, олово – свинец – сурьма), водный раствор (сахар в воде), смесь газов (воздух, состоящий из азота, кислорода, углекислого газа и пяти инертных газов).

**Фазой** называется часть системы, имеющая однородное строение и отделенная от других частей поверхностью раздела. В состав фазы может входить любое число компонентов, из которых состоит система. Система может содержать одну фазу и более. Однокомпонентные системы «сера», «алюминий», «поваренная соль» при комнатной температуре имеют одну твердую фазу, система «вода» в этих же условиях содержит одну жидкую фазу, а система «водород» – одну газообразную фазу. При температурах ниже нуля система «вода» также однофазна, имеет одну твердую фазу – лед. При нуле градусов эта система двухфазна, так как при этой температуре сосуществуют жидкая (вода) и твердая (лед) фазы.

Двухкомпонентная система «раствор сахара в воде» – однофазная, т. е. имеет одну жидкую фазу, если раствор ненасыщенный. Эта же система будет двухфазной при насыщенном растворе, содержащем нерастворившиеся кристаллы сахара, которые являются второй (твердой) фазой. Жидкая фаза в данном случае будет содержать два компонента (воду и сахар), а твердая только один (сахар).

## 5.3. ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫЕ СПЛАВЫ

### 5.3.1. СТРУКТУРНЫЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ

Чугун и сталь – основные машиностроительные материалы. Они составляют 95% всех используемых в технике сплавов.

**Чугун** – сплав на железной основе. Принципиальное отличие чугуна от стали заключается в более высоком содержании в нем углерода (более 2,14%). Наибольшее распространение получили чугуны, содержащие 3–3,5% углерода. В состав чугунов входят те же примеси, что и в сталь, т. е. кремний, марганец, сера и фосфор, но в несколько больших количествах. Углерод в чугуне может находиться в химическом соединении с железом либо в свободном состоянии в виде графита. Чугуны, у которых весь углерод находится в химическом соединении с железом, называют белыми (по виду излома), а чугуны, весь углерод которых или большая его часть представляют собой графит, получили название серых.

**Сталь** – сплавы железа с углеродом и другими элементами, содержащие до 2,14% углерода. Углерод – важнейшая примесь стали. От его содержания зависят прочность, твердость и пластичность стали. Кроме железа и углерода в состав стали входят кремний, марганец, сера и фосфор. Эти примеси обычно попадают в сталь в процессе выплавки и являются ее неизбежными спутниками. Если марганец и кремний необходимы по условиям технологии выплавки, то сера и фосфор относятся к вредным примесям, не поддающимся полному удалению. В малом количестве в стали постоянно присутствуют скрытые примеси: кислород, водород, азот. Чем меньше вредных примесей, тем выше качество стали. Различают стали обыкновенного качества, качественные, высококачественные и особо высококачественные.



В железоуглеродистые сплавы входят различные структурные составляющие, свойства которых обуславливают свойства стали и чугуна.

**Феррит** – твердый раствор небольшого количества углерода (до 0,04%) и других примесей в железе – мягкая, пластичная и недостаточно прочная структурная составляющая. Его относительное удлинение  $\delta = 30\%$ , твердость – 50÷80 НВ, предел прочности  $\sigma_B = 300$  МПа (30 кгс/мм<sup>2</sup>). Практически это чистое железо. Механические свойства феррита в большой степени зависят от величины зерен. Феррит обладает магнитными свойствами (до температуры 768 °С).

**Цементит** (Fe<sub>3</sub>C) – химическое соединение железа с углеродом – карбид железа. Он содержит 93,33% железа и 6,67% углерода, отличается большой твердостью (800 НВ, т. е. в 10 раз тверже феррита) и значительной хрупкостью. Цементит слабо магнитен, а при температурах выше 215 °С – немагнитен. Углерод может проникать в железо двумя способами. Атомы углерода могут занимать в пространственной решетке свободные места между атомами железа. Однако при комнатной температуре в пространственной решетке железа может поместиться всего 0,0001 % углерода. Остальные атомы углерода проникают в железо другим путем – вступают с ним в химическую связь. При этом образуется карбид железа Fe<sub>3</sub>C (цементит), состоящий из трех атомов железа и одного атома углерода.

Феррит и цементит являются основными структурными составляющими железоуглеродистых сплавов. Они могут располагаться, например, в структуре стали каждый в отдельности или в виде равномерной механической смеси, которая называется перлитом. Такое название эта смесь получила потому, что шлиф ее при травлении имеет перламутровый отлив. Так как перлит образуется в результате процессов вторичной кристаллизации, его называют **эвтектоидом** (в отличие от эвтектики). Образование перлита происходит при температуре 727 °С. В нем содержится 0,8% углерода.

**Перлит** имеет две разновидности. Если цементит в нем расположен в виде пластинок, его называют *пластинчатым*, если же цементит расположен в виде зерен, перлит называют *зернистым*. Под микроскопом пластинки цементита кажутся блестящими, потому что обладают большой твердостью, хорошо полируются и при травлении кислотами разъедаются меньше, чем пластинки мягкого феррита. После травления можно наблюдать темные участки перлита в сочетании с ферритом или цементитом. Поскольку перлит состоит из феррита и цементита, его свойства определяются количеством этих составляющих. Феррита содержится в перлите в шесть раз больше, чем цементита. Механические свойства перлита зависят также от формы цементита. У пластинчатого перлита твердость составляет 180÷200 НВ, предел прочности  $\sigma_B = 800$  МПа (80 кгс/мм<sup>2</sup>), относительное удлинение  $\delta = 10\div 12\%$ . У зернистого перлита прочность и твердость несколько ниже, а пластические свойства выше. Так как перлит содержит железо, он обладает магнитными свойствами.

Если железоуглеродистые сплавы нагреть до определенных температур, произойдет аллотропическое превращение железа и образуется структурная составляющая, которая называется аустенитом.

**Аустенит** представляет собой твердый раствор углерода (до 2,14%) и других примесей в железе. Способность углерода растворяться в железе неодинакова при различных температурах. При температуре 1147 °С и выше в кристаллической решетке у железа может раствориться максимальное количество углерода (2,14%). При температурах ниже 1147 °С растворимость углерода в железе постепенно уменьшается, а избыточный углерод выделяется в виде цементита. При 727 °С железо может растворять не более 0,8% углерода. При этой температуре происходит распад аустенита с образованием перлита. Лишь в некоторых сталях, содержащих большое количество никеля или марганца, структура аустенита может сохраниться и при температурах ниже 727 °С (вплоть до комнатной). Аустенит – мягкая структурная составляющая (хотя и тверже феррита). Его твердость – 180 НВ, относительное удлинение  $\delta = 40\div 50\%$ . Он отличается большой пластичностью, магнитными свойствами не обладает.

В белых чугунах всегда имеется еще одна структурная составляющая – **ледебурит**. Это эвтектика, т. е. равномерная механическая смесь зерен аустенита и цементита, получающаяся в процессе кристаллизации. Ледебурит содержит 4,3% углерода. Он образуется при температуре 1147°С. Первоначальная структура его не сохраняется при температурах ниже 727 °С, так как содержащийся в нем аустенит при 727 °С превращается в перлит. При температурах ниже 727 °С (вплоть до комнатной) ледебурит представляет собой механическую смесь перлита и цементита. Ледебурит отличается большой твердостью (550 НВ) и хрупкостью.

Изучение структурных составляющих железоуглеродистых сплавов позволяет сделать следующий важный вывод – при комнатной температуре железоуглеродистые сплавы всегда состоят из двух структурных элементов: мягкого пластичного феррита и твердого цементита, упрочняющего сплав. Эти элементы могут образовать механическую смесь либо находиться в свободном состоянии.

### 5.3.2. ДИАГРАММА СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ

Русский металлург, ученый Д.К. Чернов опубликовал в 1868 г. ряд работ, связанных с объяснениями процессов, протекающих в железоуглеродистых сплавах при их нагревании до жидкого состояния и охлаждении. Для объяснения этих процессов он предложил диаграмму «железо – углерод», которая графически изображает состояние сплава железа с углеродом при различных температурах в условиях равновесия.



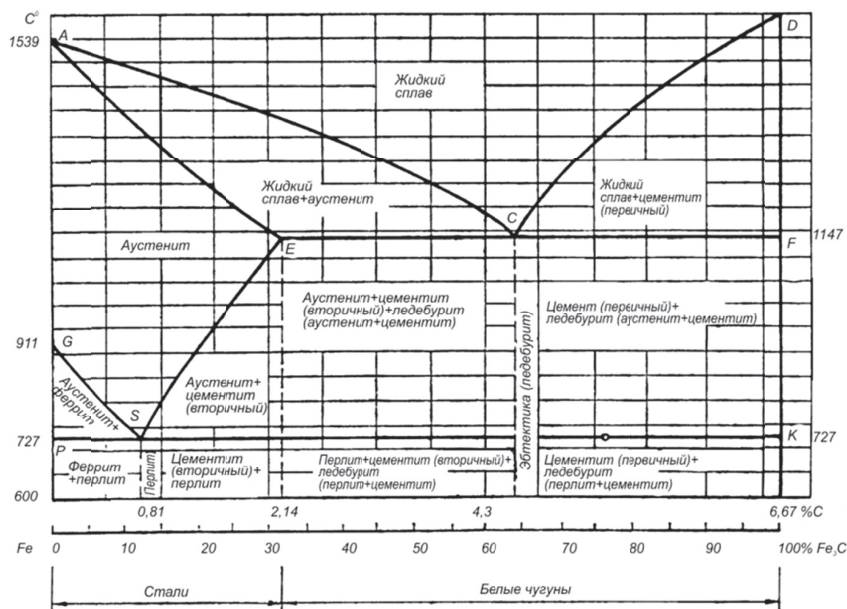


Рис. 5.10. Диаграмма состояния «железо – углерод»

Диаграмма состояния железоуглеродистых сплавов представлена на рис. 5.10. Она охватывает не все сплавы железа с углеродом, а лишь те, которые содержат до 6,67% углерода, что соответствует весовому процентному содержанию углерода в карбиде железа –  $\text{Fe}_3\text{C}$ . Это объясняется тем, что железоуглеродистые сплавы, содержащие более 5% углерода, не представляют практического интереса. Содержание углерода 6,67% взято в качестве предела на том основании, что при таком его количестве образуется химическое соединение  $\text{Fe}_3\text{C}$  (цементит), которое может рассматриваться как самостоятельный компонент сплава.

Диаграмма условно разделена на две части: диаграмму углеродистых сталей и диаграмму белых чугунов.

*Углеродистые стали* – это сплавы железа, содержащие до 2,14% углерода. Стали, имеющие в своем составе до 0,8% углерода, называются доэвтектоидными, 0,8% углерода – эвтектоидными, свыше 0,8% углерода (до 2,14%) – заэвтектоидными.

*Белые чугуны* – это сплавы железа, содержащие от 2,14 до 6,67% углерода. При содержании от 2,14 до 4,3% углерода белые чугуны называются доэвтектическими, при 4,3% – эвтектическими и при 4,3–6,67% – заэвтектическими.

На диаграмме (рис. 5.10) показано состояние сплавов при первичной и вторичной кристаллизации.

**Процессы первичной кристаллизации** характеризуются кривыми  $ACD$  и  $AECF$ .

Кривая  $ACD$  отображает температуры, при которых начинается затвердевание железоуглеродистых сплавов. Кривая  $AECF$  соответствует температурам, при которых процесс кристаллизации заканчивается. Линия  $AE$  относится к сталям, а линия  $ACF$  – к белым чугунам. Точка  $A$  характеризует температуру плавления чистого железа (1539°C), а точка  $D$  – температуру плавления цементита –  $\text{Fe}_3\text{C}$  (~ 1600°C). Точка  $E$  соответствует максимальному количеству углерода, которое может быть растворено в аустените при высоких температурах. Точка  $C$  указывает на состав эвтектики, она соответствует содержанию в сплаве 4,3% углерода. Температура образования эвтектики 1147°C. Линия  $ECF$  называется эвтектической, так как в любой ее точке происходит образование эвтектики (ледебурита).

В процессе первичной кристаллизации, по линии  $AC$ , из жидкого сплава будут выделяться кристаллы твердого раствора углерода в железе, т. е. аустенит. При содержании углерода в сплавах до 2,14% (углеродистые стали) первичная кристаллизация закончится образованием однородного по составу аустенита. Для сплавов с содержанием углерода от 2,14 до 4,3% (доэвтектические чугуны) первичная кристаллизация закончится образованием аустенита, при понижении температуры на линии  $EC$  образуется эвтектика, содержащая 4,3% углерода, т. е. ледебурит, и вторичный цементит, который выделится из перенасыщенного углеродом аустенита при температурах ниже 1147°C – в процессе вторичной кристаллизации. В точке  $C$  при 1147°C образуется эвтектика, содержащая 4,3% углерода, т. е. ледебурит.

На линии  $CF$  (заэвтектические чугуны) из жидкого сплава выделится тот компонент, который является избыточным по отношению к эвтектике, т. е. цементит (в эвтектике содержится 4,3% углерода, а в цементите – 6,67%). Так как цементит образуется при первичной кристаллизации, его называют первичным. На линии  $CF$  возникнет эвтектика – ледебурит. Следовательно, в результате первичной кристаллизации заэвтектические чугуны будут состоять из первичного цементита и ледебурита. Линия  $ECF$  (1147°C) называется эвтектической, так как на ней происходит образование механической смеси аустенита и цементита – ледебурита. Ледебурит имеет эвтектический состав, следовательно, его кристаллизация протекает при постоянной температуре 1147°C.

В результате первичной кристаллизации сталь получает структуру аустенита, характеризующуюся хорошей пластичностью и вязкостью. Поэтому такая сталь хорошо поддается обработке давлением при высоких температурах. Белые чугуны имеют в своем составе хрупкий и твердый ледебурит, который исключает возможность их обработки давлением даже при высоких температурах. Эта разница в технологических свойствах железоуглеродистых сплавов делает содержание углерода 2,14% той границей между сталью и белыми чугунами, за которой при первичной кристаллизации появляется ледебурит.

**Процессы вторичной кристаллизации стали.** Если бы железо не испытывало структурных превращений в твердом состоянии, то диаграмма состояния железоуглеродистых сплавов при всех температурах ниже 1147°C (вплоть до комнатной) была бы одинаковой (рис. 5.10, линия  $AECF$ ). Однако железо подвержено аллотропическим превращениям, поэтому эти сплавы не сохраняют своей первичной структуры.

Рассмотрим процессы вторичной кристаллизации сталей. Для наглядности выделим левую часть диаграммы (рис. 5.10), охватывающую процессы вторичной кристаллизации стали (рис. 5.11).

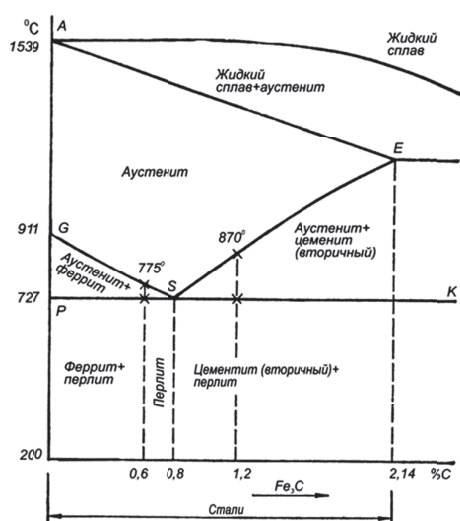


Рис. 5.11. Область сталей диаграммы состояния «железо – углерод»

Первичная структура стали включает зерна аустенита. Она сохраняется до линии *GSE* (рис. 5.10 и 5.11). Указанная линия соответствует температурам, при которых начинается вторичная кристаллизация сталей различного состава. Линия *PSK* характеризует температуру, при которой завершаются процессы вторичной кристаллизации. Для сталей, представленных на диаграмме, эта температура равна 727°C. При температурах ниже 727°C существенных превращений в сталях не наблюдается, структура, полученная при 727°C, сохраняется при дальнейшем охлаждении сплава (вплоть до комнатной температуры). Линия *PSK* называется эвтектоидной. Точка *S* диаграммы соответствует составу эвтектоида – перлиту.

В чем заключаются структурные превращения, которые происходят со сталью в твердом состоянии? Точка *G* соответствует превращениям, происходящим в чистом железе при 911°C (рис. 5.11).

Линия *GS* диаграммы отражает температуры для сталей, содержащих до 0,8% углерода, соответствует температурам, при которых начинается выделение феррита из аустенита. Рассмотрим подробнее, как будет протекать процесс вторичной кристаллизации стали, содержащей 0,6% углерода. Указанная сталь сохраняет первичную структуру аустенита до температуры 775 °C. При этой температуре начинается ее аллотропическое превращение, т. е. выделение феррита из аустенита. Так как в феррите содержится ничтожное количество углерода, оставшийся аустенит будет постепенно, по мере выделения феррита, обогащаться углеродом. Когда концентрация углерода в оставшемся аустените достигнет 0,8%, при 727 °C произойдет распад аустенита на равномерную механическую смесь феррита и цементита, которая называется перлитом. Таким образом, в интервале температур от 775 до 727°C сталь, содержащая 0,6% углерода, будет иметь в своем составе феррит и аустенит, а при температурах ниже 727°C – феррит и перлит. Структура феррит – перлит сохранится без значительных изменений и при дальнейшем охлаждении стали вплоть до комнатной температуры. Аналогичные превращения характерны для всех доэвтектоидных сталей (содержащих менее 0,8% углерода). Разница будет лишь в температуре начала выделения феррита.

Если сталь содержит 0,8% углерода, ее вторичная кристаллизация будет протекать при постоянной температуре (727°C) и сопровождаться только одним процессом – образованием перлита.

Это объясняется тем, что в данном случае содержание углерода в стали соответствует эвтектоидному составу. Процесс вторичной кристаллизации стали, содержащей более 0,8% углерода, характеризуется линиями *SE* и *SK* (рис. 5.11). Точка *E* указывает на максимальное количество углерода, которое может быть растворено в аустените, а точка *S* – на количество углерода, которое может быть растворено в аустените при 727°C. Линия *ES* соответствует предельной растворимости углерода в аустените при различных температурах. На линии *SK* заканчивается вторичная кристаллизация сталей, имеющих в своем составе более 0,8% углерода, с образованием перлита (в результате распада аустенита).

Как происходят процессы вторичной кристаллизации стали, содержащей 1,2% углерода? Сталь с таким количеством углерода сохраняет первичную структуру аустенита при охлаждении до 870°C. При более низкой температуре аустенит не способен растворить 1,2% углерода, поэтому при дальнейшем охлаждении сплава из кристаллической решетки аустенита будет выделяться избыточный углерод в виде цементита. Так как этот цементит образуется в результате вторичной кристаллизации, его называют вторичным цементитом и обозначают  $Fe_3C_{11}$ . Вследствие выделения цементита содержание углерода в оставшемся аустените будет непрерывно снижаться и при температуре 727°C достигнет 0,8%. При этой температуре аустенит превратится в перлит. На этом процесс вторичной кристаллизации закончится.

Таким образом, рассматриваемая сталь в интервале температур от 870 до 727°C имеет структуру аустенита и вторичного цементита, а при температурах ниже 727°C состоит из вторичного цементита и перлита. Аналогичные превращения в твердом состоянии испытывают все заэвтектоидные стали, т. е. стали, содержащие более 0,8% углерода, разница между ними лишь в температурах начала выделения вторичного цементита.

В структуру доэвтектоидных сталей при комнатной температуре входят феррит и перлит. Чем больше в них углерода, тем больше будет перлита и меньше феррита. Эвтектоидная сталь содержит только перлит. Структура заэвтектоидных сталей при комнатной температуре – перлитцементитная. С увеличением в этих сталях углерода растет количество цементита и уменьшается количество перлита.

#### 5.4. ТЕРМИЧЕСКОЕ УПРОЧНЕНИЕ СТАЛЕЙ

**Термическая обработка** – один из важнейших логических процессов, используемый во всех отраслях машиностроения. Термической обработкой называют тепловую обработку металлов и сплавов, при которой происходит изменение их строения, а следовательно механических свойств, которые при этом изменяются в очень широких пределах.

Процесс термической обработки состоит из трех переходов, следующих один за другим: нагрева до определенной температуры, выдержки при заданной температуре и охлаждения с различной скоростью от заданной температуры до комнатной температуры. Таким образом, процесс термической обработки зависит, прежде всего, от температуры и времени. Следовательно, любой процесс термической обработки можно изобразить в виде графика, на котором по оси ординат указывается температура, а по оси абсцисс – время (рис. 5.12).

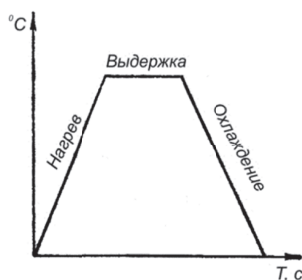


Рис. 5.12. График термической обработки

Регулируя температуру и время, можно осуществлять следующие виды термической обработки стали: отжиг, нормализацию, закалку и отпуск.

Структуры стали – феррит, перлит и цементит устойчивы при комнатной температуре (их называют **равновесными структурами**). Однако они могут значительно изменяться в зависимости от условий нагрева и охлаждения. При определенном режиме тепловой обработки стали можно сохранить структурные составляющие, изменить форму или размеры зерен и таким путем получить зернистый перлит вместо пластинчатого или мелкопластинчатый перлит вместо крупнопластинчатого. С помощью термической обработки могут быть получены неустойчивые или неравновесные структуры.

#### 5.4.1. ОТЖИГ

Отжиг – процесс термической обработки, при котором металл сначала нагревают до определенной температуры, выдерживают при этой температуре, а затем медленно охлаждают, чаще всего вместе с печью. В результате отжига в стали образуются равновесные структурные составляющие.

Отжиг чаще всего является предварительной операцией термической обработки, осуществляемой с целью устранения дефектов предыдущих операций (литья,ковки и др.) либо подготовки структуры для последующей обработки резанием или закалки. Путем отжига можно изменить форму и размеры зерен структуры стали, уменьшить вредные внутренние напряжения, устранить неоднородность ее химического состава, а также наклеп и таким образом значительно улучшить свойства стали. В зависимости от того, с какой целью производится отжиг, устанавливают его режим: температура нагревания, время выдержки, скорость охлаждения.

Для получения мелкозернистой структуры проводят **полный отжиг**. Отжигу подвергают изделия (чаще всего из конструкционной стали), перегретые при обработке давлением или при термической обработке, а также поковки, прокат, фасонное литье. Этот отжиг производится для снятия вредных внутренних напряжений. При измельчении зерна снижается твердость стали, повышаются ее вязкость и пластичность, снижаются внутренние напряжения, улучшается обрабатываемость. Изделия из такой стали более надежны при эксплуатации.

Такой отжиг не требует высокой температуры. Изделия достаточно нагреть до температуры, при которой проявляются пластические свойства стали, т. е. до 500 – 600 °С, выдержать при этой температуре некоторое время и затем медленно охладить вместе с печью.

Для сокращения времени выдержки практически отжиг ведут при 650–680 °С, т.е. при температурах ниже критических (727 °С), следовательно, структурные превращения при таком отжиге не происходят. Этот вид отжига называют еще и **низким отжигом** или **высоким отпуском**. При низком отжиге вследствие снятия внутренних напряжений достигается некоторое снижение твердости изделия. Поэтому таким видом отжига иногда пользуются для уменьшения твердости изделий с целью улучшения их обрабатываемости на станках. Следует иметь в виду, что если сталь подвергается отжигу для получения мелкозернистой структуры или зернистого цементита, то для устранения внутренних напряжений специальный отжиг не требуется. В процессе проведения указанного отжига попутно снимаются и внутренние напряжения.

Стальные заготовки и изделия тонкого сечения часто изготавливают путем штамповки, прокатки или волочения в холодном состоянии. При обработке стали давлением в холодном состоянии происходит ее наклеп – в стали заготовок образуются значительные внутренние напряжения, она становится весьма прочной и твердой и в то же время хрупкой. Структура наклепанной стали представляет собой вытянутые в одном направлении зерна, кристаллическая решетка ее искажена. Для того чтобы исключить вредное состояние наклепа, необходимо изменить структуру стали, устранить искажение кристаллической решетки и вместо вытянутых зерен получить равноосные зерна (примерно с одинаковыми осями вдоль и поперек зерна). Такой процесс восстановления структуры стали называется рекристаллизацией, а вид термической обработки, при помощи которой этот процесс осуществляется, – **рекристаллизационным отжигом**. Такого рода отжиг выполняется при температурах 450–700 °С. После непродолжительной выдержки при указанных температурах (для прогрева по всему сечению) изделие охлаждают на воздухе. В результате термической обработки уменьшаются твердость и прочность стали, вместе с тем повышаются ее вязкость и пластичность.

Крупные слитки легированной стали, претерпевающие при затвердевании значительную ликвацию, подвергают отжигу для устранения химической неоднородности. **Ликвация** – неоднородность стали по химическому составу – может быть зональной (в отдельных частях слитка) и внутрикристаллической или дендритной (внутри отдельных кристаллов). Она неблагоприятно влияет на свойства стали, особенно на ударной вязкости в поперечных сечениях. *Зональную ликвацию* практически устранить невозможно. *Внутрикристаллическая ликвация* может быть значительно ослаблена путем отжига. Сталь

нагревают до 1100–1200°C, выдерживают при этой температуре 10–15 ч, после чего медленно охлаждают вместе с печью до 200°C. Дальнейшее охлаждение производят на воздухе. На весь процесс затрачивается 80–100 ч.

При высокой температуре атомы серы, углерода и других элементов медленно перемещаются от зон, где они содержатся в большом количестве, к зонам, где их меньше. Таким образом, происходит процесс диффузии, в результате чего и выравнивается химический состав стали. Поэтому такой отжиг называют еще и **диффузионным**. В результате длительной выдержки при высокой температуре сталь приобретает крупнозернистое строение, что легко устраняется в процессе дальнейшейковки или прокатки слитка. Если химическая неоднородность стали не очень значительна, она может быть устранена при горячей обработке слитка давлением без предварительного его отжига.

Диффузионный отжиг применяют в основном на металлургических заводах, выпускающих стальные слитки. Такому отжигу подвергают также некоторые стальные отливки, однако после диффузионного отжига они должны непременно пройти повторный отжиг для получения мелкозернистой структуры.

#### 5.4.2. НОРМАЛИЗАЦИЯ

Нормализация – один из видов термической обработки. При нормализации стали нагревают до температуры, при которой проявляются пластические свойства стали. Выдерживают при этой температуре некоторое время и затем охлаждают на спокойном воздухе для получения тонкопластинчатой перлитной структуры. От отжига нормализация отличается более быстрым охлаждением (примерно в два раза быстрее). Кроме того, этот процесс более экономичный, так как охлаждение изделий при нормализации осуществляется вне печи. Однако применять нормализацию вместо отжига не всегда возможно, поскольку у некоторых сталей после нее значительно возрастает твердость (например, у сталей, содержащих свыше 0,4% углерода). Такие стали лучше отжигать, хотя на практике их часто подвергают нормализации, а затем высокому отпуску при 650–700 °C для уменьшения твердости.

Нормализацию применяют для получения мелкозернистой структуры в отливках и поковках, устранения наклепа, подготовки стали к закалке. Рекомендуют подвергать нормализации малоуглеродистые стали, так как у них практически отсутствует разница в свойствах после отжига и нормализации. Для некоторых изделий нормализация является не предварительной, а окончательной операцией термической обработки. В этом случае после нормализации изделия должны пройти высокий отпуск для снятия внутренних напряжений, образующихся при охлаждении на воздухе.

#### 5.4.3. ЗАКАЛКА

Закалка – самый распространенный и в то же время наиболее сложный вид термической обработки, так как она протекает при очень больших скоростях охлаждения, что приводит к образованию значительных внутренних напряжений. При закалке стали нагревают до температуры получения структуры аустенита (выше 800–1000°C), выдерживают некоторое время при этой температуре, а затем быстро охлаждают в воде, масле, растворах солей, кислот, щелочей, на воздухе и в других средах, а также с помощью металлических плит. Процесс охлаждения чаще всего применяется с целью повышения твердости и прочности стальных изделий. Максимальная твердость при этом достигается за счет получения структуры **мартенсита**. Закаливанию подвергают валы, шестерни, пружины, штампы, зубила, резцы, фрезы и др. Закалка с последующим отпуском позволяет изменять свойства стали в широком диапазоне.

При выборе закалывающей среды необходимо знать, как она охлаждает изделие в различных интервалах температур. Наилучшей является такая закалывающая среда, которая в интервале температур от 550 до 650 °C охлаждает изделия со скоростью выше критической скорости закалки, а при температурах 200–300 °C обеспечивает медленное, спокойное их охлаждение (табл. 5.2).

Таблица 5.2

Скорость охлаждения стали при использовании различных средств закалывания

| Средство закалывания          | Температура закалочной среды, °C | Скорость охлаждения в интервалах температур, град./с |            |
|-------------------------------|----------------------------------|--|------------|
|                               |                                  | 550–650 °C   | 200–300 °C |
| Вода                          | 18                               | 600  | 270        |
| Вода                          | 50                               | 100  | 170        |
| Вода дистиллированная         | 20                               | 250  | 200        |
| Вода дистиллированная         | 80                               | 30   | 200        |
| 10%-ный водный раствор        |                                  |  |            |
| поваренной соли               | 18                               | 1100   | 300        |
| едкого натра                  | 18                               | 1200   | 300        |
| соды                          | 18                               | 800  | 270        |
| Индустриальное масло          | 20                               | 150  | 30         |
| Эмульсия (смесь масла и воды) | –                                | 70   | 200        |
| Трансформаторное масло        | –                                | 120  | 25         |
| Медные плиты                  | –                                | 60   | 30         |
| Железные плиты                | –                                | 35   | 15         |
| Воздух                        |                                  |  |            |
| спокойный                     | –                                | 3  | 1          |
| под давлением                 | –                                | 30   | 10         |

*Примечание.* Перевод температуры Цельсия в температуру Кельвина может быть выполнен по формуле:  $n\text{ }^{\circ}\text{C} = (n + 273,16)\text{ K}$ .

Обусловлено это тем, что при температурах 550–650 °C устойчивость аустенита очень мала, особенно у углеродистой стали. Поэтому в этом интервале температур охлаждающая способность среды должна быть большой, иначе не получить



структуру мартенсита. При температурах 200–300 °С, наоборот, желательнее медленное охлаждение, что уменьшает опасность коробления изделий и появления трещин, так как в этих условиях переход аустенита в мартенсит протекает более равномерно. Например, углеродистые стали, у которых критическая скорость закалки составляет 400–600 °С/с, для получения мартенсита следует закалывать только в воде при комнатной температуре и в водных растворах солей. Большинство легированных сталей можно закалывать в масле.

#### 5.4.3.1. Закаливаемость и прокаливаемость стали

**Закаливаемость** – это способность стали к повышению твердости при закалке. Некоторые стали обладают плохой закаливаемостью (имеют недостаточную твердость после закалки). О таких сталях говорят, что они «не принимают» закалку. Для того чтобы определить закаливаемость той или иной стали, необходимо измерить твердость поверхности стального изделия после закалки. Чем выше твердость, тем лучше закаливаемость стали. Закаливаемость стали определяется в основном содержанием в ней углерода. Это объясняется тем, что твердость мартенсита зависит от степени искажения его кристаллической решетки. Чем меньше в мартенсите углерода, тем меньше искажается его кристаллическая решетка, тем ниже твердость стали. Стали, содержащие менее 0,3% углерода, имеют низкую закаливаемость. Такие стали, как правило, закалке не подвергают.

**Прокаливаемость** – глубина проникновения закалки при закалке массивных изделий. Важно знать не только закаливаемость стали, но и ее прокаливаемость. Различные слои изделия при закалке охлаждаются неодинаково. Поверхностный слой, который непосредственно соприкасается с закалочной жидкостью, охлаждается с большей скоростью, чем внутренние слои. Наименьшая скорость охлаждения – в центре изделия. Чем выше критическая скорость закалки стали, тем ниже ее прокаливаемость. Углеродистые стали имеют высокую критическую скорость закалки, поэтому у них низкая прокаливаемость. Из углеродистой стали не изготавливают массивные изделия, у которых должны быть высокие механические свойства по всему сечению. Такие изделия обычно выполняют из легированной стали, имеющей более высокую прокаливаемость.

На прокаливаемость стали кроме химического состава оказывают влияние и другие факторы, например величина зерна аустенита и охлаждающая среда. *Под глубиной закалки* условно понимают расстояние от поверхности изделия до того слоя, где структура состоит из 50% мартенсита и 50% троостита или слоя, содержащего не менее 95% мартенсита.

#### 5.4.3.2. Способы закалки

Закалка бывает непрерывная, прерывистая, ступенчатая, изотермическая и светлая.

**Непрерывная закалка** – наиболее простой способ термической обработки. Ее применяют для несложных по форме изделий. Изделие, нагретое до заданной температуры, охлаждают в воде или в масле до выравнивания его температуры с температурой ванны. Недостаток данного способа состоит в том, что при закалке изделий сложной формы в воде у них могут появиться трещины и коробление. При **прерывистой закалке** охлаждение производят в двух средах – в воде (до 300–400 °С) и в масле. При этом сочетании сред уменьшаются внутренние напряжения в стали в момент перехода аустенита в мартенсит. Используя данный способ, необходимо точно выдерживать время пребывания изделия в воде, что требует большого практического опыта от работников, производящих закалку.

**Ступенчатая закалка** применяется для изделий диаметром не более 10–12 мм из углеродистой стали и диаметром до 20–30 мм из легированных сталей. Изделия, нагретые до температуры закалки, охлаждают в расплавленных солях или щелочах, температура которых немного выше температуры начала мартенситного превращения для данной стали (150–350 °С). В указанной среде изделия выдерживают до выравнивания температуры по всему их сечению (3–5 мин), а затем охлаждают на воздухе. При охлаждении на воздухе происходит превращение аустенита в мартенсит. Такой способ закалки позволяет значительно уменьшить внутренние напряжения в стали, так как превращение аустенита в мартенсит начинается одновременно по всему сечению изделия и протекает при медленном охлаждении его на воздухе. Недостаток способа – трудность использования его для изделий крупных сечений, критическая скорость закалки которых нелегко достигается в горячих средах.

**Изотермическая закалка** – наиболее прогрессивный метод термической обработки, обеспечивающий получение однородной структуры изделий с минимальными внутренними напряжениями. Она основана на превращениях переохлажденного аустенита при постоянной температуре. Изотермическая закалка осуществляется так же, как и ступенчатая, с той лишь разницей, что изделия выдерживают в ванне более длительное время (30–60 мин и более), пока не закончится распад аустенита. Температуру и время выдержки в горячей ванне устанавливают по диаграмме изотермического превращения аустенита данной стали. Окончательно изделия охлаждают на воздухе. В это время структура стали уже не изменяется. При изотермической закалке удается устранить большое различие в скоростях охлаждения поверхности и сердцевины изделий, что является основной причиной образования напряжений, возникновения деформаций и закалочных трещин. После такой закалки изделия приобретают высокую вязкость и хорошую сопротивляемость ударным нагрузкам. Изотермической закалке часто подвергают изделия из легированных сталей марок 6ХС, 9ХС, ХВГ и др. В качестве охлаждающих сред при ступенчатой и изотермической закалке применяют расплавленные соли (50% KNO<sub>3</sub> + 50% NaNO<sub>3</sub>; 100% NaNO<sub>3</sub>; 100% NaOH; 100% KNO<sub>3</sub>) или щелочь (20% NaOH + 80% KOH).

С целью получения чистой светло-серого цвета поверхности, не требующей дополнительной очистки, изделия подвергают **светлой закалке**. После нагрева в жидких солях (в безокислительной среде) их охлаждают в расплавах едких щелочей, которые полностью растворяют тонкую пленку окислов, образующуюся на изделиях при нагреве.

#### 5.4.4. ОТПУСК

Отпуском называют процесс термической обработки, при котором закаленная сталь нагревается ниже температуры отжига, выдерживается при этой температуре и затем охлаждается. В процессе отпуска уменьшаются или устраняются внутренние напряжения, повышается вязкость и пластичность стали, снижается ее твердость, улучшается структура.

При отпуске в стали происходят определенные структурные превращения. Первое превращение происходит при температурах 80–200 °С. Из раствора выделяется углерод и при этом исчезает искажение кристаллической решетки. Образующийся в процессе отпуска мартенсит, имеющий кубическую решетку, называют отпущенным. Второе превращение проис-



ходит при температурах 200÷300 °С. Остаточный аустенит переходит в отпущенный мартенсит, который является менее напряженной структурой, чем мартенсит закалки. И, наконец, третье превращение происходит при температурах 300÷400 °С. В этот период завершается процесс выделения углерода из раствора, образуется цементит Fe<sub>3</sub>C, одновременно уменьшаются внутренние напряжения в стали. При 400 °С сталь состоит из ферритно-цементитной смеси (троостит отпуска). При дальнейшем повышении температуры начинается коагуляция – частицы феррита и цементита разрастаются и приобретают округлую форму. Отпущенная при 350÷500 °С сталь имеет структуру троостита, при 500÷600 °С – структуру сорбита и при 600÷700 °С – структуру перлита.

В зависимости от температуры нагрева различают три вида отпуска:

**низкотемпературный** (низкий) отпуск проводят с нагревом до 150÷200 °С. Этот отпуск снижает внутренние напряжения в стали при сохранении высокой твердости (58–63 HRC). Его применяют преимущественно для инструмента из углеродистых и низколегированных сталей, а также для деталей, подвергаемых поверхностной закалке, цементации и нитроцементации, к которым предъявляются высокие требования по твердости и износостойкости;

**среднетемпературный** (средний) отпуск осуществляют при температурах 350÷500 °С. Целью этого отпуска является получение структуры троостита. Твердость закаленной стали при этом снижается до 40÷50 HRC, предел упругости достигает максимальной величины. Среднему отпуску подвергают рессоры и пружины;

**высокотемпературный** (высокий) отпуск проводят при температурах 550–680 °С. Сталь при этом приобретает структуру сорбита (сорбит отпуска). Твердость закаленной стали снижается до 250–350 НВ, прочности уменьшается в 1,5–2 раза, пластичность и вязкость увеличиваются в несколько раз, внутренние напряжения полностью снимаются. Закалка с высоким отпуском называется *улучшением*. Улучшенная сталь по сравнению с отожженной или нормализованной имеет более высокие показатели прочности, пластичности и вязкости.

Улучшению подвергают изделия из конструкционных сталей марок Сталь 40, 45, 40Х, 40ХНМ, 40ХМФ и др. (полуоси, колесные валы, шатуны, поворотные кулаки, рычаги, балки передних осей грузовых автомобилей, а также болты, гайки, винты и др.), испытывающие большие нагрузки.

При отпуске некоторых легированных сталей в определенном интервале температур наблюдается резкое снижение ударной вязкости, возникает отпускная хрупкость. Чтобы избежать развития отпускной хрупкости, изделия, изготовленные из хромоникелевых и марганцовистых сталей, после высокого отпуска быстро охлаждают в масле или воде. С этой же целью сталь легируют молибденом или вольфрамом (не более 0,6%).

Температура отпуска и время выдержки зависят от марки стали, требований, предъявляемых к свойствам изделий из этой стали, и их массы. Отпуск закаленных изделий, особенно инструмента, рекомендуют проводить непосредственно после закалки с целью предотвращения образования трещин из-за возникших внутренних напряжений. При заниженных температурах отпуска или сокращении времени выдержки в стали сохраняется повышенная хрупкость, для устранения которой производится повторный отпуск. Повышенная температура отпуска приводит к снижению твердости и прочности. Эти недостатки устраняют отжигом изделий и повторной их закалкой с последующим отпуском.

Температуру отпуска определяют по цветам побежалости.

#### 5.4.5. СТАРЕНИЕ

Старение – изменение свойств стали с течением времени без заметного изменения микроструктуры. В результате старения прочность и твердость повышаются, пластичность и вязкость снижаются. Старение приводит к снижению внутренних напряжений, стабилизации размеров и геометрической формы изделий.

Если старение протекает при комнатной температуре, его называют естественным, если при повышенной температуре – искусственным. Старению подвергают станины станков, плунжеры, калибры, скобы и другие изделия, размеры и геометрическая форма которых не должны изменяться в процессе их эксплуатации.

Известны два вида старения – термическое и деформационное (механическое).

**Термическое старение** происходит в результате изменения растворимости углерода в железе в зависимости от температуры.

**Деформационное старение** протекает в сплаве, подвергнутом пластической деформации при температуре ниже температуры рекристаллизации. Процесс этого старения длится 15 суток и более при комнатной температуре и всего несколько минут при температурах 200÷350 °С.

**Искусственное старение** закаленных и отпущенных при низкой температуре изделий производят после предварительной механической обработки при 100÷180 °С с выдержкой в течение 18÷35 ч и медленным охлаждением.

**Естественное старение** осуществляют на открытом воздухе под навесом, где на изделия воздействуют температурные изменения, влажность и давление воздуха. Оно длится от 3 месяцев до 2 лет. Естественному старению подвергают станины прецизионных станков, корпусные детали весьма ответственного назначения, рамы роялей и пианино. Его результатом является снижение внутреннего напряжения, стабилизация размеров и геометрической формы изделий.

#### 5.4.6. ОБРАБОТКА СТАЛИ ХОЛОДОМ

В некоторых сталях – углеродистых (при содержании более 0,4÷0,5% углерода) и легированных – в закаленном состоянии содержится повышенное количество остаточного аустенита – 3÷12%, а в быстрорежущих 35% и более. Это объясняется тем, что температура конца мартенситного превращения указанных сталей ниже нуля градусов, а при закалке охлаждение производят только до комнатной температуры. Остаточный аустенит в закаленной стали снижает ее твердость и при постепенном самопроизвольном распаде вызывает изменение размеров изделий из этой стали. Закаленные стали, в структуре которых имеется остаточный аустенит, подвергают охлаждению до температуры ниже нуля градусов. Такой процесс называют обработкой холодом. Под действием отрицательной температуры остаточный аустенит превращается в мартенсит. Увеличение количества мартенсита способствует повышению твердости, улучшению магнитных характеристик стали, стабилизации размеров, повышению стойкости и усталостной прочности изделия из такой стали. Твердость после обработки холодом возрастает на 1÷5 HRC и более.

Термообработку с применением холода осуществляют по схеме: закалка–обработка холодом – низкий отпуск.

### 5.4.7. ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ

Основное свойство быстрорежущей стали – повышенная **красностойкость**. Для достижения красностойкости сталь подвергают термической обработке по специальному режиму. После горячейковки или прокатки заготовки из быстрорежущей стали отжигают при температурах  $800 \div 1390$  °С (в зависимости от марки). В результате отжига сталь приобретает структуру сорбита и карбидов. Из отожженных заготовок изготавливают инструмент, при этом оставляют припуски по режущим кромкам и посадочным поверхностям. Инструмент подвергают закалке при температурах  $1270 \div 1300$  °С и многократному отпуску при  $550 \div 560$  °С.

Высокая температура нагрева способствует растворению в аустените большого количества карбидов, таким путем получается высоколегированный аустенит. При охлаждении аустенита образуется высоколегированный мартенсит, содержащий значительное количество вольфрама, а также ванадия и хром. Такой мартенсит не претерпевает распада при нагреве до 600 °С, что и обуславливает красностойкость быстрорежущей стали.

### 5.4.8. ПОВЕРХНОСТНОЕ УПРОЧНЕНИЕ СТАЛИ

Поверхностной называется такая закалка, при которой высокую твердость приобретает лишь часть поверхностного слоя стали. Она отличается от всех рассмотренных ранее способов закалки методом нагрева. При такой обработке до температуры закалки нагревают только поверхностный слой изделия. При быстром охлаждении лишь этот слой подвергается закалке. Остальная часть не закаливается и сохраняет структуру и свойства, которые были до закалки.

Некоторые методы поверхностного упрочнения отличаются высокой производительностью. В ряде случаев они с большой эффективностью используются вместо обычных методов термической обработки.

**Поверхностная закалка индукционным нагревом токами высокой частоты (ТВЧ).** Этот высокопроизводительный, прогрессивный метод термической обработки обеспечивает повышение механических свойств стали, в том числе предела текучести, усталости и твердости, исключает возможность обезуглероживания, уменьшает опасность окисления поверхности изделий и их деформации.

Индукционный нагрев металла достигается путем индукции вихревых токов. Электромагнитное поле создается индуктором, подключенным через трансформатор напряжения к источнику переменного тока непосредственно или к частотному преобразователю напряжения на  $10 \dots 100\,000$  Гц.

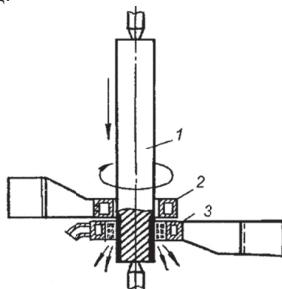


Рис. 5.13. Поверхностная закалка токами высокой частоты оси вала при одновременном нагреве и охлаждении

Чем выше частота тока, тем меньше глубина проникновения его в проводник и, следовательно, тем меньше глубина закалки. Распределение тока по сечению проводника зависит от его природы и свойств.

Процесс нагрева токами высокой частоты осуществляется следующим образом. Изделие 1, подлежащее нагреву, помещают внутрь спирали из медной трубки (рис. 5.13), т.е. в индуктор 2. Через индуктор пропускают ток высокой частоты большой силы, который создает вокруг изделия мощное переменное магнитное поле, в результате чего изделие перемагничивается много раз в секунду, в нем возникают короткозамкнутые вихревые токи. Вследствие явления поверхностного эффекта токи сосредоточиваются в поверхностном слое изделия и нагревают его на определенную глубину. Продолжительность нагрева токами высокой частоты весьма мала и исчисляется секундами.

Изделие 1 (рис. 5.13), установленное в центрах, для равномерности нагрева непрерывно вращают с определенной скоростью. Закалка происходит при вертикальном перемещении изделия сверху вниз. При таком перемещении в магнитное поле индуктора 2 последовательно поступает один участок изделия за другим и нагревается до температуры закалки. Под индуктором расположено охлаждающее устройство 3, представляющее собой согнутую кольцом перфорированную трубку, через отверстия которой на нагретые участки изделия распыляется вода и охлаждает изделие.

После закалки для уменьшения внутренних напряжений изделия подвергают низкому отпуску (при  $160 \div 200$  °С). Глубина закалки –  $3 \div 5$  мм.

**Поверхностная закалка в электролите** применяется при установившемся технологическом процессе, когда длительное время изготавливаются одни и те же изделия из стали определенных марок.

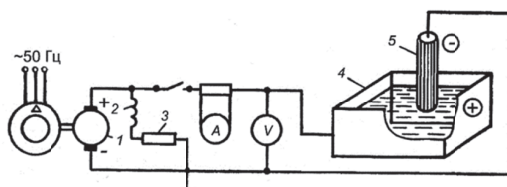


Рис. 5.14. Схема заделки детали в электролите:

1 – генератор постоянного тока; 2 – обмотка; 3 – регулирующий реостат; 4 – ванна с электролитом (анод); 5 – деталь (катод)

Например, закалка ведущих колес гусеничных тракторов производится в 14÷16%-ном водном растворе кальцинированной соды. Закаливается изделие (рис. 5.14) присоединяют к отрицательному полюсу генератора постоянного тока и опускают в ванну с электролитом. Погруженное на заданную глубину изделие нагревается за несколько секунд, после чего ток выключают. Как правило, тот же электролит является и охлаждающей средой. При нагреве в электролите происходят электролитические и электроэрозионные процессы, которые очищают нагреваемую поверхность изделий от окисных пленок, ухудшающих теплопередачу. Скорость нагрева в электролите – до 150 °С/с.

**Поверхностная импульсная закалка** применяется для деталей сложной формы: ленточные пилы, режущий инструмент (фрезы, сверла), рычаги, оси. Закаливается часть детали за очень короткий промежуток времени нагревают до температуры, превышающей температуру обычного нагрева данного материала под закалку, и затем охлаждают с большой скоростью за счет отвода тепла в остальную массу детали без применения охлаждающих сред. В результате импульсной закалки получают закаленный «белый» слой, устойчивый при отпуске до температуры 450°С, обладающий мелкозернистой структурой, высокой твердостью и износостойкостью.

При импульсной поверхностной закалке применяют высокочастотные генераторы, работающие в импульсном режиме. Такая закалка позволяет исключить деформации, трещины, повысить коррозионную стойкость деталей, заменить в некоторых случаях легированную сталь на углеродистую.

### 5.4.9. ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТАЛИ

Химико–термическая обработка стали применяется, когда к свойствам поверхностного слоя металла и к свойствам внутренних слоев детали предъявляются различные требования. Например, зубья шестерен в процессе работы испытывают сильное трение, поэтому они должны обладать большой твердостью. Однако ступица и внутренняя часть зубьев должны иметь небольшую твердость и хорошую вязкость для того, чтобы зубья не разрушались от толчков и ударов. Следовательно, зубья шестерен должны быть твердыми на поверхности и вязкими в сердцевине.

Если деталь работает в морской воде или в среде кислот и щелочей, ее поверхность должна хорошо сопротивляться коррозии. Для повышения устойчивости детали против коррозии требуется определенный химический состав ее поверхностного слоя. Вместе с тем внутренние слои металла не входят в соприкосновение с указанными средами, поэтому могут иметь обычный химический состав. Для изменения химического состава, структуры и свойств поверхностного слоя сталей осуществляется их тепловая обработка в химически активной среде, называемая химико–термической обработкой.

При химико–термической обработке происходят следующие процессы: распад молекул и образование атомов диффундирующего элемента (диссоциация), поглощение атомов поверхностью (адсорбция) и проникновение атомов в глубь металла (диффузия). Основные виды химико–термической обработки стали: цементация, азотирование, цианирование, нитроцементация, сульфацианирование, алитирование, хромирование, силицирование, борирование и др.

**Цементация** – диффузионное насыщение поверхностного слоя детали углеродом. После цементации выполняется термическая обработка – закалка и низкий отпуск. Цементации подвергают детали, работающие на истирании, испытывающие при работе вибрацию и удары. Такие детали должны иметь твердую закаленную поверхность, хорошо сопротивляющуюся истиранию, и вязкую сердцевину, способную выдерживать динамические нагрузки. Если подобные детали изготовить из стали с высоким содержанием углерода, то после термической обработки поверхность их будет твердой и износостойчивой, а сердцевина твердой и хрупкой. В результате ударных нагрузок такие детали могут разрушиться. Детали из малоуглеродистой стали будут мягкими и вязкими, выдержат вибрацию и удары, но зато быстро изнашиваются при истирании. Оптимальные свойства достигаются в том случае, если детали изготавливаются из малоуглеродистой стали, а затем подвергаются цементации с последующей закалкой.

Цементации подлежат детали из стали, содержащие до 0,3% углерода. Поверхность деталей насыщается углеродом в пределах от 0,8 до 1%. Цементация осуществляется в твердых, газообразных и жидких средах (карбюризаторах).

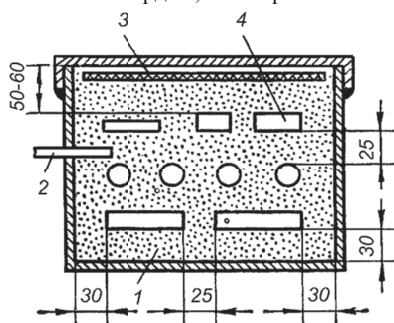


Рис. 5.15. Схема укладки деталей в цементационный ящик:  
1 – карбюризатор; 2 – контрольный образец – «свидетель»; 3 – асбест; 4 – детали

При цементации в твердом карбюризаторе используется металлический ящик (стальной, чугунный или из жаропрочного сплава). Детали располагают в ящике в шахматном порядке. Вместе с деталями в ящик загружают цилиндрический образец – «свидетель», изготовленный из стали той же марки, из которой выполнены детали. По «свидетелю» определяют глубину цементированного слоя (рис. 5.15). В качестве карбюризатора служит смесь древесного угля (60÷90%) и углекислых солей бария  $\text{BaCO}_3$  и натрия  $\text{NaCO}_3$ . Ящики закрывают крышкой, обмазывают шамотной глиной, просушивают, устанавливают в печь и выдерживают при температуре 900÷950°С.

При нагреве углерод древесного угля соединяется с кислородом воздуха, образуя окись углерода (СО), которая разлагается с образованием атомарного углерода, диффундирующего в деталь;  $2\text{CO} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{C}_{\text{атомарный}}$ . Двуокись углерода взаимодействует с древесным углем и вновь образует окись углерода:  $\text{CO}_2 + \text{C} \rightarrow 2\text{CO}$  и т. д.

Чаще всего карбюризатор имеет следующий состав: 14÷22% BaCO<sub>3</sub>, 4% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, 2% CaCO<sub>3</sub>, 6% патоки или крахмала, не более 5% влаги и остальное – древесный уголь твердых пород с величиной гранул 7÷12 мм. Цементация в карбюризаторе применяется, в основном, в мелкосерийном и единичном производствах.

В единичном производстве используется цементация пастами. В состав паст входят: сажа, углекислый натрий или барий, желтая кровяная соль, шавелевокислый натрий, мазут, декстрин и разжижители. Компоненты разводят до сметанообразного состояния. Пасту наносят кистью или погружением в нее деталей. Толщина слоя нанесенной пасты – 3÷4 мм. Детали укладывают в цементационный ящик. Процесс цементации осуществляют при температуре 920÷930°C. Цементация пастами позволяет ускорить процесс науглероживания, повысить объем использования печи.

При массовом и крупносерийном производствах хорошие результаты дает газовая цементация в специальных герметически закрытых печах.

Высокую скорость науглероживания (0,12÷0,15 мм/ч) обеспечивает жидкостная цементация. Она осуществляется в соляной ванне следующего состава: 75÷80% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, 10÷15% NaCl и 6÷10% SiC (карборунд). Процесс ведется при температуре 850÷860°C. Добавление в ванну хлористого аммония NH<sub>4</sub>Cl интенсифицирует процесс.

Защита участков поверхности от цементации и нитроцементации производится путем гальванического меднения, забивкой отверстий и внутренних полостей смесью шамотного или кварцевого песка с порошком окалины.

После цементации детали подвергают термической обработке для обеспечения высокой твердости поверхности, исправления структуры перегрева и устранения карбидной сетки в цементированном слое. Закалку производят при 780–850°C с последующим отпуском при 150–200°C. При этом происходит измельчение зерна цементированного слоя и частично зерна сердцевинны.

**Азотирование** – химико–термическая обработка, при которой происходит диффузионное насыщение поверхностного слоя азотом. В результате азотирования обеспечиваются высокая твердость поверхностного слоя (до 72 HRC), высокая усталостная прочность, теплостойкость, минимальная деформация, большая устойчивость против износа и коррозии. Азотирование проводят при температурах 500÷520 °C в течение 8÷90 ч. Глубина азотированного слоя – 0,1÷0,8 мм. По окончании процесса азотирования детали охлаждают до 200÷300 °C вместе с печью в потоке аммиака, а затем на воздухе. Повышение температуры ускоряет процесс, но снижает твердость азотированного слоя.

Для нагрева деталей служат специальные герметичные печи, в которые подается аммиак NH<sub>3</sub>. При нагреве аммиак разлагается; 2NH<sub>3</sub>→3H<sub>2</sub> + 2N<sub>атомарный</sub>. Атомарный азот N поглощается поверхностью стали и проникает в глубь детали. В поверхностном слое азот образует химические соединения – нитриды (железа Fe<sub>2</sub>N, хрома CrN, молибдена MoN, алюминия AlN), которые придают стали большую твердость (до 1200 HV). Поверхностный слой не поддается травлению. Глубже него находится сорбитообразная структура.

Азотированию с целью повышения твердости поверхности подвергают зубчатые колеса, гильзы, валы и другие детали из сталей Сталь 38ХЛША, 38ХВФЮА, 18Х2Н4ВА, 40ХНВА и др. Азотирование – последняя операция в технологическом процессе изготовления деталей. Перед азотированием проводят полную термическую и механическую обработку (даже шлифование), после азотирования допускается только доводка со съемом металла до 0,02 мм на сторону.

**Антикоррозионное азотирование** любых сталей выполняют на небольшую глубину при температурах 600÷700°C в течение 1÷2 ч. Такое азотирование часто совмещают с закалкой при 770÷850°C (стали У8, У10 и др.) с выдержкой 10÷15 мин и охлаждением в воде или масле.

При процессе жидкостного азотирования деталей в расплавленных цианистых солях (40% KCNO и 60% NaCN), через которые при 570°C в течение 1÷3 ч пропускают кислород. Толщина азотированного слоя – 0,15÷0,5 мм. В результате распада солей в сталь диффундирует азот, на поверхности деталей образуется тонкий слой карбонитрида Fe<sub>3</sub>(CN) с высоким сопротивлением износу и коррозии. Азотированный слой не склонен к хрупкому разрушению. Твердость азотированного слоя углеродистых сталей – до 350 HV, легированных – до 1100 HV. Недостатки процесса – токсичность и высокая стоимость цианистых солей. Жидкостное азотирование рекомендуется для зубчатых колес, штампов, пресс–форм и других деталей. Защиту участков поверхности от насыщения азотом производят нанесением олова (гальваническим методом ли методом окунания; толщина слоя–10 мкм), обмазкой жидким стеклом с наполнителем (мел, тальк, асбест, окись хрома и др.), химическим никелированием, заделкой отверстий металлическими пробками. В ряде отраслей промышленности используется ионное азотирование, ионитрирование или азотирование в плазме тлеющего разряда. Благодаря своим преимуществам эти виды азотирования постепенно вытесняют газовое азотирование.

**Ионное азотирование** осуществляется в герметичном контейнере, в котором создается разреженная азотосодержащая атмосфера. Для этой цели применяется чистый азот, аммиак или смесь азота и водорода. Размещенные внутри контейнера детали подключают к отрицательному полюсу источника постоянной электродвижущей силы. Они выполняют роль катода. Анодом служит корпус контейнера. Между анодом и катодом включают высокое напряжение (500÷1000 В)–происходит ионизация газа. Образующиеся положительно заряженные ионы азота устремляются к отрицательному полюсу– катоду. Электрическое сопротивление газовой среды вблизи катода резко возрастает, вследствие чего почти все напряжение, подаваемое между анодом и катодом, падает на сопротивление вблизи катода (на расстоянии нескольких миллиметров от него). Возле катода создается высокая напряженность электрического поля. Ионы азота, входя в эту зону высокой напряженности, приобретают большие скорости и, ударяясь о деталь (катод), внедряются в ее поверхность. Высокая кинетическая энергия, которой обладали ионы азота, переходит в тепловую. Деталь за короткое время (15÷30 мин) разогревается до 470÷580°C, происходит диффузия азота в глубь металла, т. е. азотирование. При соударении ионов с поверхностью детали ионы железа выбиваются с ее поверхности, за счет чего обеспечивается очистка поверхности от окисных пленок, препятствующих азотированию. Это особенно важно для азотирования коррозионностойких сталей, у которых пассивирующая пленка обычными способами удаляется с большим трудом.

Ионное азотирование по сравнению с азотированием в печах позволяет сократить общую продолжительность процесса в 2÷3 раза, уменьшить деформацию деталей за счет равномерного нагрева, создаст возможность регулирования процесса с целью получения азотированного слоя с заданными свойствами. Азотирование коррозионностойких сталей и сплавов достигается без дополнительной депассивирующей обработки. Толщина азотированного слоя – 1 мм и более, твердость поверхности– 500÷1500 HV. Ионному азотированию подвергают детали насосов, форсунок, ходовые винты станков, валы и многое другое.



Азотирование можно выполнять в магнитном поле. При сильном постоянном или импульсирующем электромагнитном поле происходит превращение аустенита в мартенсит. Обрабатываемые детали погружают в контейнер. Внутри контейнера, установленного в шахтной электропечи с электромагнитным нагревателем, подают аммиак. Азотирование осуществляют при температурах  $550 \div 560^\circ\text{C}$ . Степень диссоциации аммиака составляет  $35 \div 55\%$ . Азотированием в магнитном поле за то же время, что и при обработке в обычных шахтных печах, можно закалить поверхность на значительно большую глубину.

**Цианирование** – процесс химико–термической обработки, заключающийся в диффузионном насыщении поверхностного слоя стали углеродом и азотом в расплавленных цианистых солях. Результаты цианирования определяются глубиной слоя, а также концентрацией углерода и азота в поверхностном слое и зависят от температуры и продолжительности процесса. Повышение температуры приводит к увеличению содержания углерода в слое, снижение – к росту содержания азота. Глубина цианированного слоя с повышением температуры возрастает. В зависимости от температуры различают три вида цианирования: низко-, средне- и высокотемпературное.

*Низкотемпературное цианирование* производится при  $550 \div 570^\circ\text{C}$  в соляных ваннах, содержащих 40% цианистого калия (KCN) и 60% цианистого натрия (NaCN), через которые пропускают сухой воздух. Насыщение стали азотом в этом случае происходит в большей степени, чем углеродом. Низкотемпературное цианирование применяется с целью повышения твердости, износостойкости и теплостойкости инструмента из быстрорежущей стали, а также деталей из среднеуглеродистых сталей. Продолжительность процесса –  $0,5 \div 3$  ч. Глубина цианированного слоя –  $0,015 \div 0,04$  мм.

*Среднетемпературное цианирование* выполняется при  $820 \div 860^\circ\text{C}$  в расплавленных солях, содержащих 40% цианистого натрия (NaCN), 40% хлористого натрия (NaCl) и 20% кальцинированной соды ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ). Продолжительность процесса –  $30 \div 90$  мин. Глубина цианированного слоя –  $0,15 \div 0,35$  мм. Детали закаляют прямо из цианистой ванны, а затем отпускают при  $180 \div 200^\circ\text{C}$ . Твердость цианированного слоя после термической обработки –  $52 \div 62$  HRC. Цианированный слой содержит  $0,8 \div 1,2\%$  азота и  $0,6 \div 0,7\%$  углерода.

*Высокотемпературное цианирование* проводится при  $930 \div 960^\circ\text{C}$  в расплавленных солях, содержащих 8% цианистого натрия, 10% хлористого натрия и 82% хлористого бария ( $\text{BaCl}_2$ ). Продолжительность процесса –  $1,5 \div 6$  ч. Глубина цианированного слоя –  $0,15 \div 2$  мм. Поскольку высокая температура цианирования вызывает рост зерна аустенита, непосредственная закалка не производится. Детали сначала охлаждают на воздухе, а затем подвергают закалке и низкому отпуску. Твердость цианированного слоя после термической обработки –  $63 \div 65$  HRC. Цианированный слой содержит  $0,2 \div 0,3\%$  азота и  $0,8 \div 1,2\%$  углерода. По сравнению с цементацией высокотемпературное цианирование уменьшает возможность деформации и коробления деталей сложной формы, обеспечивает более высокое их сопротивление износу и коррозии, требует меньше времени для проведения процесса.

**Нитроцементация** – процесс химико–термической обработки, при котором происходит одновременное насыщение поверхностных слоев стальных изделий углеродом и азотом в газовой среде. Процесс осуществляют в газовой смеси из науглероживающего газа и диссоциированного аммиака при  $850 \div 870^\circ\text{C}$ , время выдержки –  $2 \div 10$  ч, толщина получаемого слоя –  $0,2 \div 1$  мм. После нитроцементации детали закаляют и затем подвергают низкому отпуску при  $160 \div 180^\circ\text{C}$ . Твердость поверхностного слоя –  $60 \div 62$  HRC. При нитроцементации совмещают процессы газовой цементации и азотирования. В газовую смесь входят эндогаз, до 13% природного газа и до 8% аммиака. В рабочее пространство шахтной печи вводят в виде капель жидкий карбюризатор – триэтанолламин.

При глубине слоя более 1 мм трудно предотвратить его пересыщение азотом и образование дефектов структуры, снижающих усталостную прочность. Поэтому для легированных сталей процесс выполняют в атмосфере с минимальным количеством аммиака (до 3%). В этом случае насыщение слоя углеродом происходит значительно интенсивней, чем азотом. Такой процесс называют **карбонитрированием**. Нитроцементации подвергают преимущественно малолегированные и углеродистые стали при повышенном содержании в них аммиака. По сравнению с газовой цементацией нитроцементация проводится при более низкой температуре с меньшей продолжительностью процесса, обеспечивает большую износостойкость деталей, меньшее их коробление, позволяет регулировать насыщение поверхностного слоя. Преимуществом нитроцементации является также безвредность процесса.

**Сульфоцианирование** – один из видов химико–термической обработки, при которой поверхность стальных деталей насыщается одновременно серой, углеродом и азотом. Процесс проводят при  $580 \div 590^\circ\text{C}$  в течение 3 ч в ваннах с расплавленными карбидами, поташом, желтой кровяной солью и гипосульфитом натрия. При разложении этих солей образуются атомарные углерод, азот и сера, которые адсорбируются на поверхности детали и диффундируют в глубь металла. При этом создается наружный слой из сульфидов железа с нитридными включениями и графитом с малой твердостью. Далее располагается слой из карбонитридов. Внутренний слой представляет собой азотистый аустенит. Сульфоцианированные детали имеют высокий коэффициент трения и очень хорошую износостойкость. Сульфоцианирование применяется для упрочнения металлических фрикционных деталей.

Условные обозначения видов термической обработки даны в табл. 5.3.

Таблица 5.3

Условные обозначения видов термической обработки

| Вид обработки  | Обозначение | Вид обработки  | Обозначение | Вид обработки   | Обозначение |
|--|-------------|--|-------------|---|-------------|
| Отжиг  | О           | Закалка с охлаждением в масле до твердости $47,5 - 51,5$ HRC <sub>3</sub>              | М48         | Цементация и закалка с охлаждением в воде до твердости $32,2 - 36,8$ HRC <sub>3</sub> | Ц–В34       |
| Нормализация   | Н           | Изотермическая закалка до твердости $32,2 - 36,8$ HRC <sub>3</sub>                     | ИЗО34       | Цементация и закалка с нагревом ТВЧ до твердости $32,2 - 36,8$ HRC <sub>3</sub>       | Ц–ТВЧ34     |
| Улучшение  | У           | Закалка с нагревом ТВЧ до твердости $32,2 - 36,8$ HRC <sub>3</sub>                     | ТВЧ34       | Жидкостная цементация   | ЦЖ          |
| Закалка с охлаждением в воде до твердости $32 - 42$ HRC <sub>3</sub> | В38         | Цементация и закалка с охлаждением в масле до твердости $32,2 - 36,8$ HRC <sub>3</sub> | Ц–М34       | Азотирование до твердости $32,2 - 36,8$ HRC <sub>3</sub>                              | АТ34        |



**Диффузионная металлизация** – диффузионное насыщение поверхностного слоя стали металлом (алюминием, хромом, кремнием, бором и др.) с целью изменения его состава и структуры. В зависимости от металла, используемого для диффузионной металлизации, различают алитирование, хромирование, силицирование, борирование и другие виды химико–термической обработки.

**Алитирование** – диффузионное насыщение поверхностного слоя стали алюминием в соответствующей среде. Основная цель процесса – получение высокой жаростойкости поверхностей стальных деталей. Алитирование осуществляют в порошкообразных смесях, ваннах с расплавленным алюминием при температурах 700– 800°С в течение 45–90 мин, а также напылением с последующим диффузионным отжигом при 900–1000°С. Толщина алитированного слоя – 0,2–1 мм. Алитированию подлежат детали газогенераторных машин, чугунные колосники, цементационные ящики, чехлы термопар и другие детали из низкоуглеродистой и среднеуглеродистой стали, специальной стали и серого чугуна.

**Хромирование** – диффузионное насыщение поверхностного слоя стали хромом в соответствующей среде с целью повышения его коррозионной стойкости, жаростойкости, твердости и износостойкости. Для хромирования используются твердая, жидкая и газовая среды. Процесс ведут при 900–1100°С в течение 5–20 ч. Толщина слоя – 0,1–0,3 мм, твердость хромированного слоя средне- и высокоуглеродистой стали–1200– 300 HV.

Таблица 5.4

Условные обозначения основных элементов в марках металлов и сплавов

| Элемент   | Символ | Принятое обозначение элементов в марках металлов так и сплавов |         | Элемент   | Символ | Принятое так обозначение элементов в марках металлов и сплавов |         | Элемент  | Символ | Принятое обозначение элементов в марках металлов так и сплавов |         |
|-----------|--------|--|---------|-----------|--------|--|---------|----------|--------|--|---------|
|           |        | черных   | цветных |           |        | черных   | цветных |          |        | черных   | цветных |
| Азот      | N      | А  | –       | Кадмий    | Cd     | Кд   | Кд      | Рутений  | Ru     | –  | Ру      |
| Алюминий  | Al     | Ю  | А       | Кобальт   | Co     | К  | К       | Самарий  | Sm     | –  | Сам     |
| Барий     | Ba     | –  | Бр      | Кремний   | Si     | С  | Кр(К)   | Свинец   | Pb     | –  | С       |
| Бериллий  | Be     | Л  | –       | Лантан    | La     | –  | Ла      | Селен    | Se     | Е  | СТ      |
| Бор       | B      | Р  | –       | Литий     | Li     | –  | Лэ      | Серебро  | Ag     | –  | Ср      |
| Ванадий   | V      | Ф  | Вам     | Лютеций   | Lu     | –  | Л юм    | Скандий  | Sc     | –  | Скм     |
| Висмут    | Bi     | Ви   | Ви      | Магний    | Mg     | Ш  | Мг      | Сурьма   | Sb     | –  | Су      |
| Вольфрам  | W      | В  | –       | Марганец  | Mn     | Г  | Мц(Мр)  | Таллий   | Tl     | –  | Тл      |
| Гадолиний | Gg     | –  | Гм      | Медь      | Cu     | Д  | М       | Тантал   | Ta     | –  | ТТ      |
| Галлий    | Ga     | Гл   | Гл      | Молибден  | Mo     | М  | –       | Теллур   | Te     | –  | Т       |
| Гафний    | Hf     | –  | Гф      | Неодим    | Nd     | –  | Нм      | Тербий   | Tb     | –  | Том     |
| Германий  | Ge     | –  | Г       | Никель    | Ni     | Н  | Н       | Титан    | Ti     | Т  | ТПД     |
| Гольмий   | Ho     | –  | ГОМ     | Ниобий    | Nb     | Б  | Нб      | Тулий    | Tu     | –  | ТУМ     |
| Диспрозий | Dy     | –  | ДИМ     | Олово     | Sn     | –  | О       | Углерод  | C      | У  | –       |
| Европий   | Eu     | –  | Ев      | Осмий     | Os     | –  | Ос      | Фосфор   | P      | П  | Ф       |
| Железо    | Fe     | –  | Ж       | Палладий  | Pd     | –  | Пд      | Хром     | Cr     | Х  | Х(Хр)   |
| Золото    | Au     | –  | Зл      | Платина   | Pt     | –  | Пл      | Церий    | Ce     | –  | Се      |
| Индий     | In     | –  | Ин      | Празеодим | Pr     | –  | Пр      | Цинк     | Zn     | –  | Ц       |
| Иридий    | Ir     | и  | И       | Рений     | Re     | –  | Ре      | Цирконий | Zr     | Ц  | ЦЭВ     |
| Иттербий  | Yb     | –  | ИТМ     | Родий     | Rh     | –  | Рд      | Эрбий    | Er     | –  | Эрм     |
| Иттрий    | Y      | –  | ИМ      | Ртуть     | Hg     | –  | Р       |          |        |  |         |

**Силицирование** – процесс диффузионного насыщения стали кремнием в соответствующей среде, обеспечивающий повышение коррозионной стойкости и жаростойкости поверхностей стальных деталей, а также резкое увеличение жаростойкости молибдена и некоторых других металлов и сплавов. Силицирование проводят в порошкообразных смесях, состоящих из 60% ферросилиция, 30% окиси алюминия и 1% хлористого аммония, а также в газовой среде, которая создается во вращающихся ретортах, в которых происходит разложение хлорида кремния (SiCl<sub>4</sub>), при 950–1050°С с выдержкой 2–5 ч. Толщина силицированного слоя – 0,5–1 мм, твердость – 200– 300 HV.

**Борирование** – диффузионное насыщение поверхностного слоя стали бором при нагревании в соответствующей среде с целью повышения твердости, коррозионной стойкости, теплостойкости и жаростойкости поверхностей стальных деталей. Различают два способа борирования: электролизное и газовое. При электролизном борировании в тигель с расплавленной бурой (950°С) помещают графитовый стержень (анод) и обрабатываемую деталь (катод). Бура разлагается, образуя атомарный бор, диффундирующий в поверхность детали. Газовое борирование осуществляют при 850–900°С в газовой смеси, состоящей из диборана В<sub>2</sub>Н<sub>6</sub> и водорода. Толщина борированных слоев не превышает 0,3 мм, твердость–1800–2000 HV. Недостаток борированного слоя – высокая хрупкость. Борированию подвергают траки, втулки грязевых и нефтяных насосов и другие сильно изнашивающиеся детали.

Условные обозначения основных элементов, входящих в наименование марок металлов и сплавов, приведены в табл. 5.4.

## 5.5. ЧУГУНЫ. ОСНОВНЫЕ МАРКИ, СВОЙСТВА И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

Чугун–самый распространенный железуглеродистый нековкий литейный материал, содержащий свыше 2% углерода, до 4,5% кремния, до 1,5% марганца, до 1,8% фосфора и до 0,08% серы. В практике применяют чугуны, содержащие 3÷3,5% углерода.

Чугун обладает высокими литейными свойствами, поэтому широко используется в литейном производстве в качестве конструкционного материала. Он хорошо обрабатывается резанием. Из чугуна, имеющего невысокий коэффициент трения, изготавливают подшипники скольжения. Специально обработанный чугун (высокопрочный) по показателям качества успешно конкурирует со стальным литьем и ковальной сталью.

Недостаточная прочность и большая хрупкость чугуна объясняются наличием в нем крупных включений углерода в виде графита.

Введение в жидкий чугун небольшого количества магния и церия изменили форму графита, он стал шаровидным. Чугун приобрел прочность и утратил хрупкость. Такой чугун (его называют высокопрочным) по своему качеству не уступает конструкционным углеродистым сталям. Стойкость деталей, изготовленных из этого чугуна, увеличилась почти в три раза.

Углерод в чугунах может находиться в виде химического соединения – цементита (такие чугуны называют *белыми*) или частично или полностью в свободном состоянии в виде графита – (такие чугуны называют *серыми*).

Чугуны состоят из металлической основы (перлита, феррита) и неметаллических включений графита. Они различаются главным образом формой графитовых включений. Белый чугун имеет ограниченное применение. Некоторые отливки, от которых требуется повышенная твердость поверхностного слоя, изготавливают из отбеленного чугуна. Поверхностный слой его состоит из белого чугуна, а сердцевина – из серого. Величину и твердость отбеленного слоя регулируют путем изменения химического состава чугуна и скорости затвердевания отливки.

**Чугун серый.** Серый чугун широко применяется в машиностроении. Такое название он получил по серому цвету излома, обусловленному наличием в структуре чугуна свободного углерода в виде графита. По виду металлической основы различают серые чугуны перлитные, перлитно–ферритные и ферритные.

Таблица 5.5

Чугуны серые литейные, их основные свойства и применение

| Марка        | $\sigma_b$<br>МПа | НВ      | Свойства и применение  |
|--------------|-------------------|---------|--|
| Сч10         | 275               | 139–274 | Малоответственные отливки с толщиной стенок до 15 мм (корпуса, крышки, кожухи и др.), детали, для которых прочностная характеристика не является обязательной, – опки, арматуру, рамки, сковороды, декоративные детали, массивные строительные колонны, фундаментные плиты   |
| СЧ15         | 314               | 160–224 | Малоответственные отливки с толщиной стенок 10 – 30 мм (трубы, корпуса клапанов, вентили при давлении – до 20 МПа и др.), корпусные малонагруженные детали, подmotorные плиты, рычаги, шкивы, маховики, емкости для масла и охлаждающей жидкости, корпуса фильтров, фланцы, крышки, звездочки цепных передач   |
| СЧ18         | 354               | 167–224 | Ответственные отливки с толщиной стенок 10 – 20 мм (шкивы, зубчатые колеса, станины, суппорты и др.)   |
| СЧ20         | 397               | 167–236 | Ответственные отливки с толщиной стенок до 30 мм (блоки цилиндров, поршни, тормозные барабаны, каретки и др.), для изготовления базовых корпусных деталей повышенной прочности и износостойкости, деталей, к которым предъявляются требования герметичности при давлении до 8 МПа (80 кгс/см <sup>2</sup> ), корпусов, коробок передач, шпindelных бабок, балансиров, планшайб, гильз, кареток, цилиндров, насосов, золотников, арматуры, компрессоров |
| СЧ25         | 450               | 176–245 | Ответственные отливки с толщиной стенок до 40 мм (кокильные формы, поршневые кольца и др.), для изготовления базовых корпусных деталей повышенной прочности и износостойкости, деталей, к которым предъявляются повышенные требования к герметичности  |
| СЧ30         | 490               | 177–250 | Ответственные отливки с толщиной стенок до 60 мм (поршни, гильзы дизелей, рамы, штампы и др.), для изготовления кронштейнов, салазок столов и суппортов, деталей с поверхностной закалкой, цилиндров, корпусов насосов, дизелей и двигателей внутреннего сгорания, поршневых колец, коленчатых и распределительных валов   |
| СЧ35<br>СЧ45 | 540               | 193–264 | Ответственные высоконагруженные отливки с толщиной стенок до 100 мм (малые коленчатые валы, детали паровых двигателей и др.) деталей, для изготовления к которым предъявляются требования герметичности при давлении свыше 8 МПа   |

Графит обладает низкими механическими свойствами. Он нарушает целостность металлической основы. Располагаясь между зёрнами металлической основы, графит ослабляет связь между ними. Поэтому серый чугун плохо сопротивляется растяжению и имеет очень низкую пластичность и вязкость. Чем крупнее и прямолинейнее графитовые включения, тем хуже механические свойства чугуна. Твердость серого чугуна, а также его сопротивление сжатию близки к показателям стали, имеющей такую же структуру, как у металлической основы чугуна.

Графит оказывает и некоторое положительное влияние на свойства чугуна, в частности, он повышает его износостойкость, действуя аналогично смазке, повышает обрабатываемость резанием, так как делает стружку ломкой, способствует гашению вибраций изделий, уменьшает усадку при изготовлении отливок.

Механические свойства серого чугуна могут быть улучшены равномерным распределением мелкопластинчатого графита в отливке. Это достигается путем специальной обработки – модифицирования, когда в жидкий чугун перед его разливкой вводят добавки, которые образуют дополнительные центры графитизации, в результате чего получается мелкопластинчатый графит. Чугун с таким графитом называют *модифицированным*. От обычного серого чугуна он отличается более высоким сопротивлением разрыву, однако пластичность и вязкость его при модифицировании не улучшаются.

По ГОСТ 1412–85 буквы СЧ в обозначении марки чугуна означают – серый чугун. Двухзначная цифра соответствует пределу прочности при растяжении  $\sigma_b$  МПа. Стандарт нормирует предел прочности серых чугунов  $\sigma_b = 274 \div 637$  МПа, твердость – 143 ÷ 637 НВ и химический состав.

Основные свойства серого чугуна и его применение приведены в табл. 5.5.

**Чугун высокопрочный с шаровидным графитом.** Высокопрочный чугун получают путем введения магния (до 0,9%) и церия (до 0,05%) в жидкий серый чугун перед разливкой его в формы. Основная часть этих модификаторов испаряется, окисляется и переходит в шлак, так что в твердом металле обнаруживается не более 0,01% этих элементов. Магний и церий активно удаляют из чугуна серу. Но главная роль их заключается в том, чтобы изменить чешуйчато–пластинчатую форму

графита на шаровидную. После модифицирования чугуна магнием или церием в ковш добавляют 75%-ный ферросилиций (сплав железа с кремнием). В отличие от модифицированного серого чугуна высокопрочный чугун имеет более высокое содержание углерода и кремния и пониженное содержание марганца.

Металлическая основа высокопрочного чугуна состоит из феррита и перлита или только из перлита. В этом чугуне сочетаются ценные свойства стали и чугуна. Он обладает сравнительно высокой прочностью при достаточной пластичности и вязкости. Высокопрочный чугун с успехом заменяет стальное литье и даже стальные поковки, что дает большой экономический эффект. Изделия из высокопрочного чугуна благодаря его повышенной износостойкости могут работать в условиях трения. Высокопрочный чугун лучше, чем серый, сохраняет свою прочность при нагреве, поэтому может применяться для работы при температурах до 400°C (серый чугун выдерживает температуру до 250°C).

ГОСТ 7293–85 нормирует предел прочности  $\sigma_b$ , предел текучести  $\sigma_T$ , относительное удлинение  $\delta$  и твердость НВ высокопрочных чугунов. Требования к отливкам из этих чугунов устанавливаются нормативно-технической документацией. Принцип маркировки высокопрочных чугунов (ВЧ) отличается от маркировки серых чугунов. В обозначение их марки входят два числа – первое указывает предел прочности на разрыв, второе – относительное удлинение. Например, марка чугуна ВЧ 42–12 означает, что данный чугун имеет предел прочности  $\sigma_b = 412 \text{ Н/мм}^2$  (42 кгс/мм<sup>2</sup>) и относительное удлинение  $\delta = 12\%$ .

Стандарт предусматривает 10 марок высокопрочных чугунов: ВЧ 38–17, ВЧ 42–12, ВЧ 45–5, ВЧ 50–7, ВЧ 50–2, ВЧ 60–2, ВЧ 70–2, ВЧ 80–2, ВЧ 100–2, ВЧ 120–2. Стандарт или справочник дает дополнительные сведения об этом чугуне: предел текучести  $\sigma_T = 274 \text{ Н/мм}^2$  (28 кгс/мм<sup>2</sup>), твердость–140÷200 НВ.

Из высокопрочных чугунов изготавливают многие детали (в том числе фасонные), которые ранее получали из стали, базовые и корпусные детали повышенной прочности (корпуса и станины станков, крупные планшайбы, гильзы, каретки, цилиндры, кронштейны, зубчатые колеса, накладные направляющие станков и детали с поверхностной закалкой). Они заменяют стали Сталь 20Л, 25Л, 30Л и 35Л.

**Чугун ковкий.** В структуре ковкого чугуна графит имеет хлопьевидную форму. Такой графит называют углеродом отжига. По сравнению с серым чугуном ковкий чугун обладает более высокой прочностью, пластичностью и вязкостью. Свое название он получил потому, что имеет повышенную пластичность. Ковке в прямом понимании этого слова чугун не подвергается.

Процесс получения отливок из ковкого чугуна включает две стадии: изготовление фасонных отливок из белого чугуна и отжиг полученных отливок с целью графитизации цементита. При отжиге происходит разложение цементита белого чугуна с образованием графита хлопьевидной формы. В результате этого хрупкие и твердые отливки становятся пластичными и более мягкими. В зависимости от условий и режима отжига структура чугуна может иметь ферритную (Ф), перлитную (П) и ферритно–перлитную металлическую основу. Наибольшее распространение получил пластичный ферритный ковкий чугун. Отжиг ковкого чугуна–весьма продолжительный процесс, занимающий 70–80 ч. Однако его можно ускорить путем закалки отливок из белого чугуна перед графитизацией, а также модифицированием чугуна алюминием, бором, висмутом или титаном. Существуют и другие способы ускорения процесса отжига. Использование указанных способов позволяет сократить продолжительность отжига до 35–40 ч.

Таблица 5.6

Чугуны ковкие, их основные свойства и применение

| Марка   | НВ  | Свойства и применение  |
|---|---|--|
| КЧ 35–10<br>КЧ37–12   | 160   | Чугуны ферритного класса используют для производства деталей, эксплуатируемых при высоких динамических и статических нагрузках (картеров, редукторов, ступиц, крюков, скоб, задних мостов, кронштейнов)  |
| КЧ 30–6<br>КЧ 33–8  | 160   | Для изготовления менее ответственных деталей (хомутов, гаек, вентилях, деталей сельскохозяйственных машин, глушителей, фланцев, муфт, тормозных деталей, педалей, гаечных ключей, колодок, кронштейнов)  |
| КЧ 45–7<br>КЧ 50–5<br>КЧ 55–4<br>КЧ 60–3<br>КЧ 65–3<br>КЧ 70–2<br>КЧ 80–1,5 | 203<br>226<br>236<br>264<br>264<br>280<br>314 | Ковкие чугуны перлитного класса марок обладают высокой прочностью, умеренной пластичностью и хорошими антифрикционными свойствами. Из них получают вилки карданных валов, шестерни, червячные колеса, поршни, подшипники, звенья и ролики конвейерных цепей, втулки, муфты, тормозные колодки, коленчатые валы |

По ГОСТ 1215–79 маркируется ковкий чугун по тому же принципу, что и высокопрочный. Например, марка чугуна КЧ 33–8 означает, что данный чугун имеет предел прочности  $\sigma_b = 32.4 \text{ Н/мм}^2$  (33 кгс/мм<sup>2</sup>) и относительное удлинение  $\delta = 8\%$ .

Отливки из ковкого чугуна можно получить с сечением до 55 мм. При большем сечении в сердцевине отливок образуется пластинчатый графит и чугун становится не пригодным для отжига. В машиностроении чаще применяют высокопрочный чугун, который получают при менее сложных и более дешевых технологических процессах, чем процессы производства ковкого чугуна.

Основные свойства ковкого чугуна и его применение приведены в табл. 5.6.

**Чугун легированный.** Свойства чугуна можно улучшить путем введения в его расплав легирующих элементов, оказывающих благоприятное влияние не только на его металлическую основу, но также на форму и размеры графитных включений, способствующих значительному измельчению структуры чугуна.

Требования к легированным чугунам для отливок с повышенной жаростойкостью, коррозионной стойкостью, износостойкостью или жаропрочностью регламентированы ГОСТ 7769–82. По основному легирующему элементу чугуны со специальными свойствами подразделяют на пять видов: хромистые, кремнистые, алюминиевые, марганцевые и никелевые, маркируется легированный чугун по тому же принципу, что и высокопрочный. Буква Ч означает чугун, буква Ш – шаровидная форма графита, буквы русского алфавита, соответствующие легирующим химическим элементам, и цифры после букв означают приблизительное содержание легирующих элементов в целых процентах. Например, марка чугуна ЧХ16 означает, что данный легированный чугун содержит хрома 16%.

Основные свойства легированного чугуна и его применение приведены в табл. 5.7.

Таблица 5.7

## Чугуны легированные, их основные свойства и применение

| Марка             | $\sigma_{в}$ , МПа | $\sigma_{п}$ , МПа | НВ      | Свойства и применение  |
|-------------------|--------------------|--------------------|---------|--|
| ЧХ1               | 170                | 350                | 203÷280 | Повышенная коррозионная стойкость в газовой, воздушной и щелочной средах в условиях трения и износа, жаростойкий в воздушной среде, выдерживает температуру до 773 К (500°C). Предназначен для изготовления холодильных плит доменных печей, колосников агломерационных машин, деталей коксохимического оборудования, сероуглеродных реторт, деталей газотурбинных двигателей и компрессоров, горелок, кокилей, стеклоформ, выхлопных коллекторов дизелей  |
| ЧХ2<br>ЧХ3        | 150                | 310                | 223÷356 | Жаростойкость в воздушной среде – до 873 К (600°C), у чугуна ЧХ2 и чугуна ЧХ3 – до 973 К (700°C); эти чугуны применяют для производства колосников балок горна агломерационных машин, деталей контактных аппаратов химического оборудования, решеток трубчатых печей нефтеперерабатывающих заводов, деталей турбокомпрессоров, стекломашин и термических печей, электролизеров, облицовочных плит и др.  |
| ЧХ3Т              | 200                | 400                | 440÷580 | Обладает повышенной стойкостью против абразивного износа и истирания; используют для изготовления деталей гидромашин, перекачивающих абразивные смеси, и футеровки (внутренней облицовки) пылепроводов   |
| ЧХ9Н5<br>ЧХ16М2   | 350÷170            | 490÷607            | 700÷490 | Высокая стойкость этих чугунов против абразивного износа и истирания обусловила возможность их применения при изготовлении мелющих деталей угле- и рудоразмольных мельниц, ковшей пескометов, дробеетов  |
| ЧХ16              | 350                | 700                | 390÷440 | Жаростойкий в воздушной среде, выдерживает температуры до 1173 К (900°C), износостойкий при нормальной и повышенной температурах, устойчивый против воздействия неорганических кислот большой концентрации. Изготавливают арматуру для химического машиностроения, печную арматуру, детали цементных печей   |
| ЧХ22<br>ЧХ28Д2    | 290÷390            | 540÷690            | 390÷635 | Высокоустойчивые против абразивного износа и истирания, поэтому используются для производства размольного оборудования, грохотов и склизов, агломерационных машин, песко- и дробеструйных камер, работающих при повышенных температурах; кроме того, из таких чугунов изготавливают вставки для армирования брусьев вторичной зоны охлаждения установок непрерывной разливки стали, детали угле- и рудоразмольных мельниц, ковшей, пескометов и дробеетов  |
| ЧХ22С             | 290                | 540                | 333÷607 | Повышенная коррозионная стойкость при температурах до 1273 К (1000°C) в случае применения его в запыленных газовых средах, высокой кислотостойкостью и сопротивлением межкристаллитной коррозии; из него изготавливают детали, не подвергающиеся действию постоянных и переменных нагрузок, детали аппаратуры, работающей в условиях действия концентрированных азотной и фосфорной кислот, печной аппаратуры  |
| ЧХ28 ЧХ34         | 290÷390            | 560÷690            | 245÷333 | Высокая коррозионная стойкость в растворах кислот (азотной, серной, фосфорной, соляной, уксусной, молочной и др.), щелочей и солей (азотнокислом аммония, сульфате аммония, хлорной извести, хлорном железе, селитре); а также в газах, содержащих серу или SO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O, жаростойкие, выдерживают температуры до 1373÷1423 К (1100÷1150 °C), хорошо сопротивляются абразивному износу; производят детали, работающие при небольших механических нагрузках в среде SO <sub>2</sub> и SO <sub>3</sub> , в щелочах высокой концентрации, азотной кислоте, растворах и расплавах солей при температурах до 1273 К (1000°C), детали центробежных насосов, печной арматуры, реторты для цементации, сопла горелок, цилиндры, корпуса золотников, гребни обжиговых колчеданных печей, сопла для пескоструйных аппаратов, а также другие детали, подверженные абразивному истиранию |
| ЧХ28П             | 200                | 400                | 245÷390 | Стойкость после окислительного отжига в цинковых расплавах при температурах до 823 К (550°C), из него получают детали пар трения, работающие в цинковом расплаве агрегатов горячего непрерывного цинкования  |
| ЧС5 ЧС5Ш          | 150÷290            | 290                | 140÷294 | Жаростойкость в топочных газах и воздушной среде, выдерживают температуры до 973 ÷ 1073 К (700 и 800°C); из чугуна марки ЧС5 изготавливают колосники, бронеплиты для печей обжига, используемых в цементной промышленности, сероуглеродные реторты, а из чугуна марки ЧС5Ш – топочную арматуру котлов, детали пароперегревателей котлов, газовые сопла, подовые плиты термических печей  |
| ЧС13 ЧС15<br>ЧС17 | 100÷400            | 210÷140            | 294÷450 | Высокая коррозионная стойкость чугуна при температурах до 473 К (200°C), устойчивы к воздействию концентрированных и разбавленных кислот, растворов щелочей, солей (кроме фтористоводородных и фтористых соединений), не допускают резких переменных, а также ударных нагрузок и перепада температур; из них производят отливки простой конфигурации, детали центробежных и поршневых насосов, компрессоров и трубопроводной арматуры, трубы, фасонные детали для трубопроводной арматуры, теплообменников и другие детали химической аппаратуры   |
| ЧС15М4<br>ЧС17М3  | 60                 | 140÷100            | 390÷450 | Высокая коррозионная стойкость чугуна к серной, азотной и соляной кислотам разной концентрации и температуры, водным растворам щелочей и солей при местном перепада температур до 30 К в массе детали в случае отсутствия динамических, переменных и пульсирующих нагрузок. Применяются для тех же целей, что и чугуны перечисленных выше марок  |
| ЧЮХШ<br>ЧЮ7Х2     | 390÷120            | 240÷170            | 236÷294 | Жаростойкие в воздушной среде чугуны, выдерживают температуры до 923 и 1023 К (650 и 750°C), стойкие против истирания; из чугуна марки ЧЮХШ изготавливают пресс-формы для стального производства, детали печного оборудования, ролики чистовых клетей листопрокатных станов, из чугуна марки ЧЮ7Х2 – детали печной арматуры  |



|   |             |             |             |  |
|---|-------------|-------------|-------------|--|
| 6С5                                       | 120         | 240         | 236÷<br>294 | Жаростойкий в воздушной среде чугуи, выдерживает температуры до 1023 К (750°С), коррози-онностойкий в среде, содержащей соединения серы, стойкий к резким сменам температур; реко-мендуют для производства отливок, работающих при температурах до 1073 К (800 °С)   |
| ЧЮ22Ш                                     | 290         | 490         | 235÷<br>356 | Жаростойкий в среде, содержащей серу, сернистый газ, окислы ванадия и пары воды, жаростой-кий в воздушной среде при температурах до 1373 К, отличается высокой прочностью при нор-мальной и повышенной температурах; предназначен для изготовления деталей арматуры котлов, пароперегревателей, обжиговых колчеданных печей, нагревательных кольцевых печей, колосни-ков агломерационных машин   |
| ЧЮ30                                      | 200         | 350         | 356÷<br>536 | Жаростойкий в воздушной среде чугуи, выдерживает температуры до 1373 К. (1100 °С), стойкий против износа; из этого чугуна получают детали для обжиговых колчеданных печей  |
| ЧГ6СЗШ<br>ЧГ7Х4                           | 496÷<br>150 | 680÷<br>330 | 490÷<br>586 | Высокая стойкостью в абразивной среде и против истирания в пыле- и пульпопроводах, мельни-цах и т. п., из них изготавливают детали мелющего оборудования и насосов, футеровки мельниц, дробе- и пескоструйных камер  |
| ЧГ8ДЗ                                     | 150         | 330         | 176÷<br>285 | Немагнитный износостойкий чугуи, применяется в условиях повышенных температур; из него изготавливают немагнитные детали и сопряженные трущиеся детали арматуры   |
| ЧНХТ<br>ЧНХМД<br>ЧН2Х                     | 280÷<br>290 | 430÷<br>690 | 196÷<br>280 | Высокие механические свойства, хорошо сопротивляющиеся износу и коррозии в слабощелоч-ных и газовых средах (продукты сгорания топлива, технический кислород), а также в водном растворе, чугуи марки ЧН2Х, кроме того, проявляет высокую стойкость в расплавах каустика; чугуи марки ЧНХТ предназначен для изготовления маслот поршневых компрессорных и маслот-сьемных колец, седел, направляющих втулок клапанов дизелей и газомотокомпрессоров, деталей сглаживающих прессов и размольных мельниц бумагоделательных машин; из чугуна марки ЧНХМД отливают блоки и головки цилиндров, выхлопных патрубков двигателей внутреннего сгорания, паровых машин и турбин, поршни и гильзы цилиндров паровых машин, тепловозных и судостроительных дизелей, детали кислородных и газовых мотокомпрессоров, детали бумагоде-лательных машин; чугуи марки ЧН2Х служит для производства зубчатых колес различных типов, цилиндров двигателей, абразивных дисков, дросселей, холодильных цилиндров и валов бу-магоделательных, картоноделательных и сушильных машин, матриц штамповочных прессов |
| ЧНМШ                                      | 490         |             | 183÷<br>280 | $\delta=2$ , высокие механические свойства и термостойкость чугуна при температурах до 773 К (500 °С); применяется для изготовления крышек и днищ цилиндров дизелей, головок поршней, маслот поршневых колец, холодильных цилиндров и валов бумагоделательных, картоноделательных и сушильных машин  |
| ЧН4Х2                                     | 290         | 490         | 215÷<br>280 | высокая стойкость против абразивного износа и истирания; предназначен для изготовления изно-состойких деталей машин, перекачивающих абразивные смеси, футеровки мельниц, пылепрово-дов, размальвающих валков и шаров, сопел, склизов и грохотов  |
| ЧН15Д3Ш,<br>ЧН15Д7,<br>ЧН19Х3Ш<br>ЧН11Г7И | 150         | 350         | 120÷<br>250 | Высокая коррозионная и эрозийная стойкость чугунов в щелочах, слабых растворах кислот, серной кислоте любой концентрации при температурах более 323 К, в морской воде, в среде перегретого водо-яного пара, обладают высоким коэффициентом термического расширения, могут быть магнитными при низком содержании хрома, чугуны марок ЧН19Х3Ш и ЧН11Г7Ш, кроме того, обладают прочно-стью при температурах до 873 К (600°С); из чугунов марок ЧН15Д3Ш и ЧН15Д7 производят детали насосов, вентиляей и другой аппаратуры для нефтеперерабатывающей промышленности, а также арма-туростроения, немагнитные отливки для электротехнической промышленности, гильзы цилиндров, головки поршней, седла и направляющие втулки клапанов, выхлопные коллекторы двигателей внут-реннего сгорания; чугуны марок ЧН19Х3Ш и ЧН11Г7Ш применяют при изготовлении выпускных коллекторов, клапанных направляющих, корпусов турбонагревателей газовых турбин, головок порш-ней, корпусов насосов, вентиляей и немагнитных деталей  |
| ЧН20Д2Ш                                   | 500         |             | 120÷<br>220 | $\delta=25$ , высокие механические свойства при температурах до 173 К и высокой ударной вязкостью (не менее 3 Дж/см <sup>2</sup> ) на образцах с острым надрезом, может быть пластически деформирован в холодном состоянии; предназначен для изготовления насосов и деталей аппаратуры, используемой в нефтедо-бывающей и нефтеперерабатывающей промышленности, а также деталей топливной арматуры.  |

## 5.6. СТАЛИ УГЛЕРОДИСТЫЕ. ОСНОВНЫЕ МАРКИ, СВОЙСТВА И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

Сталь является наиболее распространенным материалом в машиностроении. Создание новых более совершенных машин стимулирует создание марок сталей со свойствами, отвечающими современным требованиям в машиностроении. При этом ранее созданные марки сталей, с учетом новых технологий их производства, продолжают быть востребованы конструкторами при создании новых и совершенствовании действующих машин. Принято выделять следующие группы сталей: углеродистые стали, которые в общем объеме составляют примерно 80%, легированные стали конструкционные и инструментальные, стали с особыми свойствами специального назначения и др.

### 5.6.1. СТАЛИ УГЛЕРОДИСТЫЕ ОБЫКНОВЕННОГО КАЧЕСТВА

Относятся к числу наиболее дешевых и широко применяемых. Из них получают до 70% всего проката – горячекатаного, сортового и фасонного толсто- и тонколистового, широкополосного и холоднокатаного тонколистового. Из этих сталей изготавливают трубы, поковки, штамповки, ленту, проволоку, металлические изделия (метизы): гвозди, канаты, сетки, болты, гайки, заклепки, а также мало- и средненагруженные детали; штифты, шайбы, шпонки, крышки, кожухи, а из стали номеров 4-6 – валы, винты, зубчатые колеса и шпиндели. Стали обыкновенного качества хорошо свариваются.



В зависимости от назначения углеродистые стали обыкновенного качества подразделяют (ГОСТ 380–94) на три группы: А – поставляемые по механическим свойствам, Б – поставляемые по химическому составу и В – поставляемые по механическим свойствам и химическому составу. В зависимости от нормируемых показателей (прочностная характеристика, химический состав) сталь каждой группы подразделяют на категории: группа А – 1, 2 и 3-я; группа Б – 1, 2,-я; группа В – 1, 2, 3, 4, 5, 6-я.

Буквы Ст означают «сталь», цифры от 0 до 6 – условный номер марки, характеризующий механические свойства стали. С увеличением номера марки повышаются предел прочности  $\sigma_b$  и предел текучести  $\sigma_t$  и уменьшается относительное удлинение  $\delta$ . Для обозначения степени раскисления после номера марки ставятся индексы: кп – кипящая, пс – полуспокойная, сп – спокойная (например: Ст3кп, Ст3пс, Ст3сп; табл. 5.8 и 5.9).

Механические свойства углеродистой стали обыкновенного качества группы А и примерное назначение углеродистой стали обыкновенного качества приведены в табл.5.8

Таблица 5.8

Стали углеродистые, их механические свойства и назначение

| Марка стали  | Свойства         |                  |              | Примерное назначение  |
|--------------|------------------|------------------|--------------|---|
|              | $\sigma_b$ , МПа | $\sigma_t$ , МПа | $\delta$ , % |   |
| Ст0          | Не менее 300     | –                | 23           | Неответственные строительные конструкции, прокладки, шайбы, кожухи. Свариваемость хорошая   |
| Ст1кп        | 300–390          | –                | 35           | Малонагруженные детали металлоконструкций – заклепки, шайбы, шпильки, прокладки, кожухи. Свариваемость хорошая  |
| Ст1пс, Ст1сп | 310–410          | –                | 34           |   |
| Ст2кп        | 320–410          | 215              | 33           | Детали металлоконструкций – рамы, оси, ключи, валики, цементируемые детали. Свариваемость хорошая   |
| Ст2пс, Ст2сп | 330–430          | 225              | 32           |   |
| Ст3кп        | 360–460          | 235              | 27           | Рамы тележки, цементируемые и цианируемые детали, от которых требуется высокая твердость поверхности и невысокая прочность сердцевины, крюки кранов, кольца, цилиндры, шатуны, крышки |
| Ст3пс, Ст3сп | 370–480          | 245              | 26           |   |
| Ст3Гпс       | 370–490          | 245              | 26           |   |
| Ст3Гсп       | 390–570          | –                | –            |   |
| Ст4кп        | 400–510          | 255              | 25           | Валы, оси, тяги, пальцы, крюки, болты, гайки, детали при невысоких требованиях к прочности  |
| Ст4пс, Ст4сп | 410–530          | 265              | 24           |   |
| Ст5пс, Ст5сп | 490–630          | 285              | 20           | Валы, оси, звездочки, крепежные детали, зубчатые колеса, шатуны, детали при повышенных требованиях к прочности  |
| Ст5Гпс       | 540–590          | 285              | 20           |   |
| Ст6пс        | Не менее 590     | 315              | 15           | Валы, оси, бойки молотов, шпиндели, муфты кулачковые и фрикционные, цепи, детали с высокой прочностью   |
| Ст6сп        | 590              | 315              | 15           |   |

Для возможности распознавания марок стали при складировании, прокат маркируют несмываемой краской. Для этого, независимо от группы и степени раскисления стали, используют краску цветов, указанных в табл. 5.9.

Таблица 5.9

Цвет маркировки стали углеродистой обыкновенного качества

| Марка стали | Цвет маркировки   | Марка стали | Цвет маркировки  |
|-------------|-------------------|-------------|------------------|
| Ст0         | Красный и зеленый | Ст3Гпс      | Красный и синий  |
| Ст1         | Белый и черный    | Ст4         | Черный           |
| Ст1Гпс      | Белый и красный   | Ст4Гпс      | Черный и красный |
| Ст2         | Желтый            | Ст5         | Зеленый          |
| Ст2Гпс      | Желтый и красный  | Ст6Гпс      | Зеленый и белый  |
| Ст3         | Красный           | Ст6         | Синий            |

## 5.6.2. СТАЛИ УГЛЕРОДИСТЫЕ КАЧЕСТВЕННЫЕ КОНСТРУКЦИОННЫЕ

Являются основным металлом для изготовления деталей машин (валов, шпинделей, осей, зубчатых колес, шпонок, муфт, фланцев, фрикционных дисков, винтов, гаек, упоров, тяг, цилиндров гидроприводов, эксцентриков, звездочек цепных передач и др.), которые при взаимодействии в работающей машине воспринимают и передают различные по величине нагрузки. Эти металлы хорошо обрабатываются давлением и резанием, лютуются и свариваются, подвергаются термической, термомеханической и химико-термической обработке. Различные специальные виды обработки обеспечивают вязкость, упругость и твердость сталей, позволяют делать из них детали, вязкие в сердцевине и твердые снаружи, что резко увеличивает их износостойкость и надежность. Из углеродистых качественных конструкционных сталей производят прокат, поковки, калиброванную сталь, сталь серебрянку, сортовую сталь, штамповки и слитки.

Основные свойства стали углеродистой качественной конструкционной

| Марка | Механические свойства |            |              |                       |     | Физические свойства     |  |                                  | Технологические свойства     |               |                                     |   |                                |
|-------|-----------------------|------------|--------------|-----------------------|-----|-------------------------|--|----------------------------------|------------------------------|---------------|-------------------------------------|---|--------------------------------|
|       | $\sigma_T$            | $\sigma_B$ | $\delta, \%$ | $a_n, \text{Дж/см}^2$ | НВ  | $\gamma, \text{г/см}^3$ | $\lambda, \text{Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ | $\alpha \cdot 10^6, 1/\text{°C}$ | обрабатываемость<br>резанием | свариваемость | интервал<br>температур<br>ковки, °С | пластичность при<br>холодной обработ-<br>ке | *Горячекатаная<br>**Отожженная |
|       |                       |            |              |                       |     |                         |  |                                  |                              |               |                                     |   |                                |
| 08    | 196                   | 324        | 33           | —                     | 126 | 7,83                    | 811                                      | 11,6                             | В                            | ВВ            | 800–1300                            | ВВ  | *                              |
| 10    | 206                   | 321        | 31           | —                     | 140 | 7,83                    | 811                                      | 11,6                             | В                            | ВВ            | 800–1300                            | ВВ  | *                              |
| 15    | 225                   | 373        | 27           | —                     | 145 | 7,82                    | 770                                      | 11,9                             | В                            | ВВ            | 800–1250                            | ВВ  | *                              |
| 20    | 245                   | 412        | 25           | —                     | 159 | 7,82                    | 770                                      | 11,1                             | В                            | ВВ            | 800–1280                            | В   | *                              |
| 25    | 274                   | 451        | 23           | 88                    | 166 | 7,82                    | 732                                      | 11,1                             | В                            | ВВ            | 800–1280                            | В   | *                              |
| 30    | 294                   | 490        | 21           | 78                    | 175 | 7,817                   | 732                                      | 12,6                             | В                            | В             | 800–1250                            | В   | *                              |
| 35    | 314                   | 529        | 20           | 69                    | 203 | 7,817                   | 732                                      | 11,09                            | В                            | В             | 800–1250                            | В   | *                              |
| 40    | 321                   | 568        | 19           | 59                    | 183 | 7,815                   | 596                                      | 12,4                             | В                            | У             | 800–1250                            | У   | **                             |
| 45    | 363                   | 598        | 16           | 49                    | 193 | 7,814                   | 680                                      | 11,649                           | В                            | У             | 800–1250                            | У   | **                             |
| 50    | 373                   | 627        | 14           | 38                    | 203 | 7,811                   | 680                                      | 12,0                             | У                            | У             | 800–1250                            | У   | **                             |
| 55    | 382                   | 647        | 13           | —                     | 212 | 7,82                    | 680                                      | 11,0                             | У                            | Н             | 800–1250                            | Н   | **                             |
| 60    | 402                   | 676        | 12           | —                     | 224 | 7,80                    | 680                                      | 11,1                             | У                            | Н             | 800–1240                            | Н   | **                             |

Примечание. Н – низкая, У – удовлетворительная, В – высокая, ВВ – весьма высокая.

Качественные конструкционные стали обладают более высокими механическими свойствами (ГОСТ 1050–88), чем стали обыкновенного качества, за счет меньшего содержания в них фосфора, серы и неметаллических включений. По видам обработки их делают на горячекатаную, кованую, калиброванную и серебрянку (со специальной отделкой поверхности).

Обозначение марки стали составляют из слова «Сталь» и двузначной цифры, которая указывает на среднее содержание углерода в сотых долях процента. Например, Сталь 25 содержит 0,25% углерода (допустимое количество углерода – 0,22–0,30%), Сталь 60–0,60% (допустимое количество – 0,57–0,65%). Степень раскисления в марках спокойных сталей не отражается, а в марках полуспокойных и кипящих сталей, как и сталей обыкновенного качества, обозначается буквами «пс» и «кп» соответственно. В качественных конструкционных сталях всех марок допускается содержание серы не более 0,040% и фосфора – не более 0,035%.

Основные свойства углеродистой качественной конструкционной стали приведены в табл. 5.10, основное назначение – в табл. 5.11. Цвета маркировки приведены в табл. 5.12.

Таблица 5.11

Стали углеродистые качественные конструкционные, их основное назначение

| Марка стали    | Основное назначение   |
|----------------|---|
| Сталь 08кп, 10 | Детали, изготавливаемые холодной штамповкой и холодной высадкой, трубки, прокладки, крепеж, колпачки. Цементируемые и цианируемые детали, не требующие высокой прочности сердцевин (втулки, валики, упоры, копиры, зубчатые колеса, фрикционные диски)        |
| Сталь 15, 20   | Малонагруженные детали (валики, пальцы, упоры, копиры, оси, шестерни). Тонкие детали, работающие на истирание, рычаги, крюки, траверсы, вкладыши, болты, стяжки и др.   |
| Сталь 30, 35   | Детали, испытывающие небольшие напряжения (оси, шпиндели, звездочки, тяги, траверсы, рычаги, диски, валы)   |
| Сталь 40, 45   | Детали, от которых требуется повышенная прочность (коленчатые валы, шатуны, зубчатые венцы, распределительные валы, маховики, зубчатые колеса, шпильки, храповики, плунжеры, шпиндели, фрикционные диски, оси, муфты, зубчатые рейки, прокатные валики и др.) |
| Сталь 50, 55   | Зубчатые колеса, прокатные валики, штоки, бандажи, валы, эксцентрики, малонагруженные пружины и рессоры и др. Применяют после закалки с высоким отпуском и в нормализованном состоянии  |
| Сталь 60       | Детали с высокими прочностными и упругими свойствами (прокатные валки, эксцентрики, шпиндели, пружинные кольца, пружины и диски сцепления, пружины амортизаторов). Применяют после закалки или после нормализации (крупные детали)                            |

Таблица 5.12

Цвета маркировки стали углеродистой качественной

| Группа               | Цвет краски        |
|----------------------|--------------------|
| Сталь 08, 10, 15, 20 | Белый              |
| Сталь 25, 30, 35, 40 | Белый и желтый     |
| Сталь 45, 50, 55, 60 | Белый и коричневый |

### 5.6.3. СТАЛИ УГЛЕРОДИСТЫЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ

Из инструментальных углеродистых сталей получают горячекатаную, ковную и калиброванную сталь, сталь серебрянку, сталь для сердечников, а также слитки, листы, ленту, проволоку и другую продукцию. Из этих сталей изготавливают режущий инструмент для обработки металлов, дерева и пластмасс, измерительный инструмент, штампы для холодного деформирования.

Теплостойкость инструментальных углеродистых сталей не превышает 200°C, при нагревании выше этой температуры они теряют свою твердость, а следовательно режущие свойства и износостойкость.

Инструментальные углеродистые стали условно можно разделить на две группы (ГОСТ 1435–99): качественные стали У7, У8, У8Г, У9, У10, У11, У12 и У13 и высококачественные марки У7А, У8А, У8ГА, У9А, У10А, УНА, У12А и У13А.

В качественных инструментальных углеродистых сталях допускается содержание 0,03% серы и 0,035% фосфора, в высококачественных – 0,02% серы и 0,03% фосфора. Стали, полученные методом электрошлакового переплава, содержат до 0,015% серы. В зависимости от содержания хрома, никеля и меди инструментальные углеродистые стали подразделяются на пять групп: 1–я – качественные стали всех марок, предназначенные для изготовления продукции всех видов (кроме патентованной проволоки и ленты); 2–я – высококачественные стали всех марок, предназначенные для тех же целей, что и стали первой группы; 3–я – стали марок У10А и У12А для изготовления сердечников; 4–я – стали всех марок для производства патентованной проволоки и ленты; 5–я – стали марок У7÷У13 для изготовления горяче- и холоднокатаных листов и лент, в том числе термически обработанных толщиной до 2,5 мм (кроме патентованной ленты), а также стали этих марок для производства горячекатаной и кованной сортовой стали и холоднотянутой шлифованной стали (серебрянки).

Инструментальная сталь должна обладать высокой твердостью (63÷64 HRC<sub>2</sub>), значительно превышающей твердость обрабатываемого материала, износостойкостью и теплостойкостью (способностью сохранять свойства при высоких температурах).

Измерительный инструмент, изготовленный из такой стали, должен быть прочным ( $\sigma_b = 590 \div 640$  МПа), длительное время сохранять заданные размеры и форму. Рабочие детали штампов и накатных роликов для холодного деформирования (вытяжки, гибки, высадки, пробивки отверстий, накатки, раскатки), сделанные из этой стали, должны иметь высокую твердость, обладать износостойкостью при достаточной вязкости. Все это достигается путем закалки с отпуском, а для измерительного инструмента и за счет искусственного старения. В табл. 5.12 приведены свойства углеродистой инструментальной стали, в табл. 5.13 – примерное назначение инструментальной углеродистой стали.

Таблица 5.12

| Свойства стали углеродистой инструментальной (ГОСТ 1435 – 74) |                       |                |              |                    |     |
|---|-----------------------|----------------|--------------|--------------------|-----|
| Марка стали   | Механические свойства |                |              |                    |     |
|   | $\sigma_T$            | $\sigma_b$ МПа | $\delta$ , % | Дж/см <sup>3</sup> | HRC |
| У7А   | –                     | 630            | 21           | –                  | 63  |
| У8А   | –                     | 590            | –            | –                  | 63  |
| У10А  | –                     | 590            | 23           | –                  | 63  |
| УНА   | –                     | –              | –            | –                  | 63  |
| У12А  | –                     | 640            | 28           | –                  | 64  |
| У13А  | –                     | –              | –            | –                  | 64  |

Таблица 5.13

| Примерное назначение стали углеродистой инструментальной |  |
|--|--|
| Марка стали  | Назначение   |
| У9   | Деревообрабатывающий режущий инструмент (сверла, фрезы, ножи) и ножовочные полотна для обработки стали                                 |
| У10, У11 и У12   | Металлорежущий инструмент (фасонные резцы, сверла, метчики, плашки, развертки, фрезы, напильники и ходовые винты прецизионных станков) |
| У13  | Бритвенные ножи, лезвийный хирургический инструмент и напильники   |
| У7 и У8  | Слесарные молотки, зубила, губки тисков, шаблоны, скобы  |
| У8, У9 и У10   | Детали микрометрического инструмента, гладкие и резьбовые калибры, цанги, фрикционные диски, пружины и др.                             |

Как правило, изготовлению инструмента предшествует отжиг на зернистый цементит, который способствует лучшей обрабатываемости резанием и уменьшает коробление деталей при закалке.

### 5.7. СТАЛИ И СПЛАВЫ ЛЕГИРОВАННЫЕ (ГОСТ 4543–71)

Относятся к железоуглеродистым материалам, которые кроме обычных примесей (марганца, кремния, серы и фосфора) содержат ряд элементов, специально вводимых в сталь при ее выплавке для получения заданных свойств. Эти элементы называют легирующими. В качестве легирующих элементов чаще всего добавляют в сплавы никель, хром, вольфрам, молибден, титан, ванадий, алюминий, медь, кобальт, бор. Кремний и марганец, если они специально введены в сталь, также являются легирующими элементами. При этом содержание кремния должно быть выше 0,5%, а марганца – выше 0,8%. Подавляющая часть легированных сталей содержит два или несколько легирующих элементов, так как совместное их действие значительно влияет на изменение свойств сталей, чем действие одного элемента, даже если он вводится в большом количестве.

Название легированных сталей определяется основными легирующими элементами, входящими в их состав, например: хромистая, хромомарганцовая, хромоникелевая, хромоникельмолибденовая и т. п.

Влияние легирующих элементов на свойства стали зависит от их количества, местоположения в структуре и содержания углерода. Все легирующие элементы в том или ином количестве способны растворяться в кристаллической решетке

феррита, образуя при этом, так называемый, легированный феррит. По отношению к углероду легирующие элементы можно разделить на две группы:

*первая группа* – элементы, способные создавать с углеродом стойкие химические соединения – карбиды; к ним относятся титан, ванадий, вольфрам, молибден, хром, марганец и ниобий;

*вторая группа* – элементы, не образующие карбиды; в их число входят кремний, алюминий, никель, медь, кобальт. Эти элементы содержатся в легированных сталях в виде твердого раствора в феррите.

Карбидообразующие элементы, растворенные в феррите, искажают его кристаллическую решетку, упрочняют феррит, уменьшают теплопроводность и электропроводность стали. Карбиды отличаются весьма высокой твердостью ( $70 \div 75$  HRC) и износостойкостью, но обладают значительной хрупкостью. Они играют весьма важную роль в инструментальных сталях.

После термической обработки (закалки, отпуска) улучшаются механические свойства легированных сталей, но в изделиях малых сечений их свойства мало отличаются от механических свойств углеродистой стали. В изделиях крупных сечений (свыше 15 мм) механические свойства легированных сталей – предел текучести  $\sigma_T$ , относительное сужение  $\psi$  и ударная вязкость  $a_n$  – значительно выше, чем углеродистых. Это объясняется малой критической скоростью закалки легированных сталей, а следовательно, лучшей их прокаливаемостью. После термической обработки у них образуются более мелкое зерно и дисперсные структуры. Большая прокаливаемость и малая критическая скорость закалки позволяют закалывать эти стали в менее резких охладителях, к которым относится масло и воздух, что способствует уменьшению деформации деталей и уменьшению возможности образования трещин. Поэтому легированные стали применяют для изготовления деталей малого сечения со сложной геометрической формой. Без термической обработки эти стали использовать нецелесообразно. Прокаливаемость возрастает с увеличением в стали марганца, хрома, бора, никеля и молибдена. Конкретному сечению стали должно соответствовать определенное количество легирующих элементов, иначе ухудшаются такие ее технологические свойства, как обработка резанием, свариваемость и др. Если содержание хрома или марганца превышает 1%, увеличивается порог хладноломкости стали или критической температуры хрупкости (температуры перехода металла от вязкого разрушения к хрупкому и наоборот). Поэтому содержание легирующих элементов должно быть минимальным, обеспечивающим необходимую сквозную прокаливаемость для конкретного сечения детали и условий охлаждения при закалке.

Никель повышает сопротивление стали хрупкому разрушению, увеличивает пластичность и вязкость, уменьшает чувствительность к концентраторам напряжений и понижает температуру порога хладноломкости. Поскольку никель дорогой металл, то его вводят в конструкционные стали в сочетании с хромом и другими элементами в предельно малых количествах.

После отпуска легированная сталь обладает более высокой прочностью и твердостью, но меньшей пластичностью вязкостью, чем углеродистая. Молибден и вольфрам повышают прокаливаемость и устойчивость стали против отпуска, способствуют образованию мелкозернистой структуры. Особое влияние молибден оказывает на цементированную сталь, так как повышает твердость и прокаливаемость цементированного слоя. Кремний при изотермической закалке обеспечивает высокую вязкость и пониженную чувствительность стали к надрезу. В отожженном и нормализованном состоянии легированная сталь имеет более высокую прочность, но меньшую пластичность, чем углеродистая.

В зависимости от области применения легированные стали подразделяют на три группы: конструкционные стали, предназначенные для изготовления деталей машин и конструкций; инструментальные стали, используемые для производства режущих и измерительных инструментов, штампов и пресс-форм; стали и сплавы с особыми физическими и химическими свойствами – коррозионностойкие, жаростойкие, жаропрочные, магнитомягкие, магнитотвердые, с заданным коэффициентом теплового расширения и др.

В зависимости от содержания вредных примесей различают качественную легированную сталь (не более 0,035% серы также и фосфора), высококачественную – А (не более 0,025% серы также и фосфора), особовысококачественную – Ш (до 0,015% серы и до 0,025% фосфора). Буква Ш ставится через дефис в конце марки стали, например 30ХГС–Ш, 30ХГСА–Ш.

В обозначение марок легированных сталей (ГОСТ 4543–71) входят заглавные буквы русского алфавита, соответствующие определенным химическим элементам, содержащимся в стали, и цифры, обозначающие количество легирующих элементов и углерода (табл. 5.14).

Первые одна или две цифры (слева) характеризуют среднее содержание углерода: одна цифра – в десятых долях процента, две цифры – в сотых долях. В марках некоторых инструментальных легированных сталей с содержанием углерода около 1% цифра не ставится. Цифры после букв означают приблизительное содержание легирующих элементов в целых процентах. При содержании легирующего элемента до 1,5% цифра после буквы может не проставляться (это делается в исключительных случаях). Например, 40Х означает хромистую легированную конструкционную сталь, содержащую 0,4% углерода и около 1% хрома; 15Н2М – конструкционную легированную никельмолибденовую сталь с содержанием 0,15% углерода, 2% никеля и до 1% молибдена.

Маркировка высококачественных сталей отличается наличием буквы А, проставляемой в конце марки. Например, 18Х2Н4МА означает хромоникельмолибденовую конструкционную легированную высококачественную сталь с содержанием 0,18% углерода, 2% хрома, 4% никеля и до 1% молибдена; 38Х2МЮА – хромоалюминиевую конструкционную высококачественную сталь, имеющую в своем составе 0,38% углерода, 2% хрома, до 1% молибдена и до 1% алюминия. Буква А не ставится в обозначении высококачественных инструментальных легированных сталей и сплавов с особыми свойствами. Например, 8Х4ВЗМЗФ2 – инструментальная легированная сталь для режущего и измерительного инструмента (0,8% углерода, 4% хрома, 3% вольфрама, 3% молибдена и 2% ванадия).

Иногда в обозначении марок сталей в начале ставятся буквы, указывающие области их применения: А – автоматные стали повышенной обрабатываемости резанием (А 12, А35), Ш – шарикоподшипниковые стали (ШХ15, ШХ9), Р – быстрорежущие стали (Р18, Р6М5К5), Св – сварочные и наплавочные стали и сплавы (Св–12ГС, Св–08ХН2ГМТА). Особое внимание следует обратить на букву А, которая может содержаться в начале обозначения марки стали, в середине и в конце. Если буква А стоит в начале марки, она указывает область применения стали (автоматная конструкционная сталь повышенной и высокой обрабатываемости резанием, например А40ХЕ); если в конце марки, значит сталь высококачественная (например 20Х2Н4А); буква А, стоящая в середине марки, означает азот, например 10Х14АП5. Стали, предназначенные для специального производства (исследуемые или пробные), часто маркируют условно, например, по месту их выплавки: Э – «Электро-сталь», З – Златоустовский металлургический комбинат, Д – завод «Днепрспецсталь» – ЭИ868, ЭП48, ЗИ, ДИ (И – значит исследовательская, П – пробная).

Свойства легированных сталей (ГОСТ 4543–71) приведены в табл. 5.14 и 5.15.

Таблица 5.14

## Свойства сталей легированных (ГОСТ 4543–71)

| Марка стали  | Термическая обработка         |                |                  |                |                  | Механические свойства |                   |              |                           | Технологические свойства  |               |   |
|--|-------------------------------|----------------|------------------|----------------|------------------|-----------------------|-------------------|--------------|---------------------------|---------------------------|---------------|---|
|  | закалка                       |                |                  | отпуск         |                  | $\sigma_T$ , МПа      | $\sigma_{в,}$ МПа | $\delta$ , % | $a_n$ , Дж/м <sup>2</sup> | обрабатываемость резанием | свариваемость | пластичность при холодной обработке давлением |
|  | температура, °С               |                | среда охлаждения | температура °С | среда охлаждения |                       |                   |              |                           |                           |               |   |
|  | первой закалки (нормализации) | второй закалки |                  |                |                  |                       |                   |              |                           |                           |               |   |
| <i>Стали хромистые</i>                                   |                               |                |                  |                |                  |                       |                   |              |                           |                           |               |   |
| 15X  | 880                           | 770–820        | Вода или масло   | 180            | Воздух или масло | 490                   | 735               | 12           | 7                         | В                         | В             | В   |
| 15XA   | 880                           | 770–820        | То же            | 180            | То же            | 490                   | 735               | 12           | 7                         | В                         | В             | В   |
| 29X  | 880                           | 770–820        | »                | 180            | »                | 638                   | 786               | 11           | 6                         | В                         | В             | У   |
| 30X  | 860                           | –              | Масло            | 500            | Вода             | 735                   | 884               | 12           | 7                         | В                         | У             | У   |
| 30XPA  | 900                           | 860            | То же            | 200            | Воздух           | 1280                  | 1570              | 9            | 15                        |                           | У             | У   |
| 35X  | 860                           | –              | »                | 500            | Вода или масло   | 735                   | 910               | 11           | 7                         | В                         | У             | У   |
| 38XA   | 860                           | –              | »                | 550            | То же            | 786                   | 932               | 12           | 9                         | В                         | У             | У   |
| 40X  | 860                           | –              | »                | 500            | »                | 786                   | 980               | 10           | 6                         | В                         | У             | У   |
| 45X  | 840                           | –              | »                | 520            | »                | 835                   | 1030              | 9            | 5                         | В                         | Н             | Н   |
| 50X  | 830                           | –              | »                | 520            | »                | 884                   | 1080              | 9            | 4                         | В                         | Н             | Н   |
| <i>Стали марганцовистые</i>                              |                               |                |                  |                |                  |                       |                   |              |                           |                           |               |   |
| 20Г  | 880                           | –              | Воздух           | –              | –                | 274                   | 451               | 24           | –                         | У                         | В             | В   |
| 25Г  | 880                           | –              | Вода или воздух  | 560            | Воздух           | 295                   | 490               | 22           | 9                         | У                         | В             | В   |
| 30Г  | 860                           | –              | То же            | 600            | »                | 315                   | 540               | 20           | 8                         | У                         | У             | У   |
| 35Г  | 860                           | –              | »                | 600            | »                | 333                   | 560               | 18           | 7                         | У                         | Н             | У   |
| 40Г  | 860                           | –              | »                | 600            | »                | 353                   | 588               | 17           | 6                         | У                         | Н             | Н   |
| 45Г  | 850                           | –              | Масло или воздух | 600            | »                | 372                   | 569               | 15           | 5                         | У                         | Н             | Н   |
| 50Г  | 850                           | –              | То же            | 600            | »                | 392                   | 648               | 13           | 4                         | У                         | Н             | Н   |
| 10Г2   | 920                           | –              | Воздух           | –              | »                | 245                   | 422               | 22           | –                         | У                         | В             | В   |
| 30Г2   | 880                           | –              | Масло или воздух | 600            | »                | 343                   | 588               | 15           | –                         | У                         | У             | У   |
| 35Г2   | 870                           | –              | То же            | 650            | »                | 363                   | 618               | 13           | –                         | У                         | Н             | У   |
| 40 Г2  | 860                           | –              | »                | 650            | »                | 382                   | 658               | 12           | –                         | У                         | Н             | Н   |
| 45Г2   | 850                           | –              | »                | 650            | »                | 402                   | 686               | 11           | –                         | У                         | Н             | Н   |
| 50Г2   | 840                           | –              | »                | 650            | »                | 421                   | 735               | 11           | –                         | У                         | Н             | Н   |
| <i>Стали хромомарганцовистые</i>                         |                               |                |                  |                |                  |                       |                   |              |                           |                           |               |   |
| 18ХГ   | 880                           | –              | Масло            | 200            | Воздух или масло | 735                   | 884               | 10           | –                         | –                         | –             | –   |
| 18ХГТ  | 880–950                       | 870            | То же            | 200            | Воздух или вода  | 884                   | 980               | 9            | 8                         | –                         | –             | –   |
| 20ХГР  | 880                           | –              | »                | 200            | Воздух или масло | 786                   | 980               | 9            | 8                         | В                         | Н             | У   |
| 27ХГР  | 870                           | –              | »                | 200            | Воздух           | 1178                  | 1375              | 8            | 6                         | В                         | Н             | У   |
| 25ХГТ  | 880–950                       | 850            | »                | 200            | Вода или масло   | 1080                  | 1470              | 10           | 7                         | У                         | Н             | У   |
| 30ХГТ  | 880–850                       | 850            | »                | 200            | То же            | 1280                  | 1470              | 9            | 6                         | –                         | –             | –   |
| 40ХГТР   | 840                           | –              | »                | 550            | »                | 786                   | 980               | 11           | 8                         | В                         | Н             | Н   |
| 35ХГФ  | 870                           | –              | »                | 630            | »                | 786                   | 980               | 11           | 8                         | –                         | –             | –   |
| 20ХГМ  | 860                           | –              | »                | 200            | Воздух           | 1080                  | 1178              | 10           | 8                         | –                         | –             | –   |
| <i>Стали хромокремнистые</i>                             |                               |                |                  |                |                  |                       |                   |              |                           |                           |               |   |
| 33ХС   | 920                           | –              | Вода или масло   | 630            | Вода или масло   | 686                   | 884               | 13           | 8                         | У                         | Н             | Н   |
| 38ХС   | 900                           | –              | Масло            | 630            | Масло            | 735                   | 932               | 12           | 7                         | У                         | Н             | Н   |
| 40ХС   | 800                           | –              | То же            | 540            | То же            | 1080                  | 1225              | 12           | 3,5                       | У                         | Н             | Н   |
| <i>Стали хромомолибденовые и хромомолибденванадиевые</i> |                               |                |                  |                |                  |                       |                   |              |                           |                           |               |   |
| 15ХМ   | 880                           | –              | Воздух           | 650            | Воздух           | 275                   | 441               | 21           | 12                        | –                         | В             | В   |
| 20 ХМ  | 880                           | –              | Вода или масло   | 500            | То же            | 638                   | 786               | 12           | 9                         | В                         | У             | У   |
| 30ХМ   | 880                           | –              | Масло            | 540            | Вода             | 735                   | 932               | 11           | 8                         | В                         | Н             | У   |



| или масло   |         |         |                   |     |                     |      |      |    |     |    |   |   |
|---|---------|---------|-------------------|-----|---------------------|------|------|----|-----|----|---|---|
| 30ХМА   | 880     | –       | То же             | 540 | То же               | 735  | 932  | 12 | 9   | В  | Н | У |
| 35ХМ  | 880     | –       | »                 | 550 | »                   | 835  | 932  | 12 | 8   |    | Н | У |
| 38ХМ  | 850     | –       | »                 | 580 | Воздух              | 884  | 980  | 11 | 7   | В  | Н | У |
| 30ХЗМФ  | 870     | –       | »                 | 620 | Вода                | 835  | 980  | 12 | 10  | В  | Н | У |
| Стали хромомолибденовые и хромомолибденованадиевые            |         |         |                   |     |                     |      |      |    |     |    |   |   |
| 15ХМ  | 880     | –       | Воздух            | 650 | Воздух              | 275  | 441  | 21 | 12  | –  | В | В |
| 20 ХМ   | 880     | –       | Вода<br>или масло | 500 | –                   | 638  | 786  | 12 | 9   | В  | У | У |
| 30ХМ  | 880     | –       | Масло             | 540 | Вода                | 735  | 932  | 11 | 8   | В  | Н | У |
| или масло   |         |         |                   |     |                     |      |      |    |     |    |   |   |
| 30ХМА   | 880     | –       | То же             | 540 | То же               | 735  | 932  | 12 | 9   | В  | Н | У |
| 35ХМ  | 880     | –       | »                 | 550 | »                   | 835  | 932  | 12 | 8   |    | Н | У |
| 38ХМ  | 850     | –       | »                 | 580 | Воздух              | 884  | 980  | 11 | 7   | В  | Н | У |
| 30ХЗМФ  | 870     | –       | »                 | 620 | Вода                | 835  | 980  | 12 | 10  | В  | Н | У |
| или масло   |         |         |                   |     |                     |      |      |    |     |    |   |   |
| 40ХМФА  | 860     | –       | »                 | 580 | Масло               | 932  | 1030 | 13 | 9   | В  | Н | У |
| Стали хромованадиевые   |         |         |                   |     |                     |      |      |    |     |    |   |   |
| 15ХФ  | 880     | 760–810 | Вода<br>или масло | 180 | Воздух<br>или масло | 540  | 735  | 13 | 8   | У  | У | У |
| 40ХФА   | 880     | –       | Масло             | 650 | Вода                | 735  | 884  | 10 | 9   | –  | Н | У |
| или масло   |         |         |                   |     |                     |      |      |    |     |    |   |   |
| Стали никельмолибденовые                                      |         |         |                   |     |                     |      |      |    |     |    |   |   |
| 15Н2М   | 860     | 770–820 | Масло \ 180       |     | Воздух              | 638  | 835  |    |     | –  | – | – |
| 20Н2М   | 860     | –       | \ 180             |     | »                   | 686  | 884  |    |     | –  | – | – |
| Стали хромоникелевые и стали хромоникелевые с бором           |         |         |                   |     |                     |      |      |    |     |    |   |   |
| 20ХН  | 860     | 760–810 | Вода<br>или масло | 180 | Вода<br>или масло   | 588  | 786  | 14 | 8   | В  | У | У |
| 40ХН  | 820     | –       | То же             | 500 | То же               | 588  | 980  | 11 | 7   | У  | Н | У |
| 45ХН  | 820     | –       | »                 | 530 | »                   | 835  | 1030 | 10 | 7   | В  | Н | Н |
| 50ХН  | 820     | –       | »                 | 530 | »                   | 884  | 1080 | 9  | 5   | В  | Н | Н |
| 20ХНГ   | 930–950 | 780–830 | Масло             | 200 | Воздух              | 980  | 1178 | 10 | 9   | В  | У | У |
| воздух  |         |         |                   |     |                     |      |      |    |     |    |   |   |
| 12ХН2   | 860     | 760–810 | Вода<br>или масло | 180 | То же               | 588  | 786  | 12 | 9   | В  | У | У |
| 12ХН3А  | 860     | 760–810 | То же             | 180 | »                   | 686  | 932  | 11 | 9   | В  | У | У |
| 20ХН3А  | 820     |         | Масло             | 500 | Вода                | 735  | 932  | 12 | 11  | В  | У | У |
| или масло   |         |         |                   |     |                     |      |      |    |     |    |   |   |
| 12Х2Н4А   | 860     | 760–800 | То же             | 180 | Воздух              | 532  | 1128 | 10 | 9   |    | У | У |
| или масло   |         |         |                   |     |                     |      |      |    |     |    |   |   |
| 20Х2Н4А   | 860     | 780     | »                 | 180 | То же               | 1080 | 1280 | 9  | 8   | В  | У | У |
| 30ХН3А  | 820     | –       | »                 | 530 | Вода или масло      | 786  | 980  | 10 | 8   | В  | Н | Н |
| Стали хромокремнемарганцовые и хромокремнемарганцевоникелевые |         |         |                   |     |                     |      |      |    |     |    |   |   |
| 20ХГСА  | 880     | –       | Масло             | 500 | Вода<br>или масло   | 638  | 786  | 12 | 7   | ВВ | В | В |
| 25ХГСА  | 880     | –       | »                 | 480 | То же               | 835  | 1080 | 10 | 6   | В  | В | В |
| 30ХГС   | 880     | –       | »                 | 540 | »                   | 835  | 1080 | 10 | 4,5 | У  | В | У |
| 30ХГСА  | 880     | –       | »                 | 540 | »                   | 835  | 1080 | 10 | 5   | У  | В | У |
| 36ХГСА  | 700     | 890     | »                 | 230 | Воздух<br>или масло | 1280 | 1616 | 9  | 4   | Н  | В | У |
| воздух  |         |         |                   |     |                     |      |      |    |     |    |   |   |
| 30ХГСН2А  | 900     | –       | »                 | 260 | То же               | 1375 | 1616 | 9  | 6   | –  | – | – |

Стали хромомарганцевоникелевые и хромомарганцевоникелевые с титаном и бором

| Марка стали   | Термическая обработка         |                |                   |                |                     | Механические свойства |                  |              |                         | Технологические свойства  |               |   |
|---|-------------------------------|----------------|-------------------|----------------|---------------------|-----------------------|------------------|--------------|-------------------------|---------------------------|---------------|---|
|   | закалка                       |                |                   | отпуск         |                     | $\sigma_T$ , МПа      | $\sigma_B$ , МПа | $\delta$ , % | $a_n$ Дж/м <sup>2</sup> | обрабатываемость резанием | свариваемость | пластичность при холодной обработке давлением |
|   | температура, °С               |                | среда охлаждения  | температура °С | среда охлаждения    |                       |                  |              |                         |                           |               |   |
|   | первой закалки (нормализации) | второй закалки |                   |                |                     |                       |                  |              |                         |                           |               |   |
| 15ХГН2ТА  | 960<br>воздух                 | 840            | Масло             | 180            | Воздух или<br>масло | 735                   | 932              | 11           | 10                      | –                         | –             | –   |
| 20ХГНР<br>20ХГНТР   | 930–950<br>850                | 780–830        | »                 | 200<br>200     | То же<br>Масло      | 1080<br>980           | 1280<br>1178     | 10<br>9      | 9<br>8                  | –                         | –             | –   |
| 38ХГН   | 850                           | –              | »                 | 570            | Вода<br>или масло   | 868                   | 786              | 12           | 10                      | –                         | –             | –   |
| <i>Стали хромоникельмолибденовые</i>                                |                               |                |                   |                |                     |                       |                  |              |                         |                           |               |   |
| 14Х2Н3МА  | 880                           | 770            | Масло             | 180            | Воздух              | 884                   | 980              | 10           | 8                       | –                         | –             | –   |
| 20ХН2М  | 860                           | 780            | »                 | 200            | Вода<br>или масло   | 686                   | 884              | 11           | 8                       | –                         | –             | –   |
| 30ХН2МА   | 860                           | –              | »                 | 530            | Воздух              | 786                   | 980              | 10           | 8                       | –                         | –             | –   |
| 38Х2Н2МА  | 870                           | –              | »                 | 580            | Воздух или<br>масло | 932                   | 1080             | 12           | 8                       | –                         | –             | –   |
| 40ХН2МА   | 870                           | –              | »                 | 860            | То же               | 932                   | 1080             | 12           | 8                       | В                         | Н             | Н   |
| 42Х2Н2МА  | 870                           | –              | »                 | 600            | »                   | 932                   | 1080             | 10           | 8                       | –                         | –             | –   |
| 38ХН3МА   | 850                           | –              | »                 | 590            | Воздух              | 980                   | 1080             | 12           | 8                       | –                         | –             | –   |
| 18Х2Н4МА  | 950<br>воздух                 | 860            | Воздух<br>Масло   | 200<br>550     | Воздух или<br>масло | 835<br>784            | 1128<br>1029     | 12<br>12     | 10<br>12                | У                         | у             | Н   |
| 25Х2Н4МА  | 850                           | –              | Масло             | 560            | Масло               | 932                   | 1080             | 11           | 9                       | У                         | У             | Н   |
| <i>Стали хромоникельмолибденованадиевые и хромоникельванадиевые</i> |                               |                |                   |                |                     |                       |                  |              |                         |                           |               |   |
| 30ХН2МФА  | 860                           | –              | Масло             | 680            | Воздух              | 786                   | 884              | 10           | 9                       | –                         | –             | –   |
| 36Х2Н2МФА   | 850                           | –              | »                 | 600            | То же               | 1080                  | 1178             | 12           | 8                       | –                         | –             | –   |
| 38ХН3МФА  | 850                           | –              | »                 | 600            | Масло               | 1080                  | 1178             | 12           | 8                       | –                         | –             | –   |
| 45ХН2МФА  | 860                           | –              | »                 | 460            |                     | 1280                  | 1422             | 7            | 4                       | –                         | –             | –   |
| 20ХН4ФА   | 850                           | –              | »                 | 630            | Вода                | 686                   | 884              | 12           | 10                      | –                         | –             | –   |
| <i>Стали хромоалюминиевые и хромоалюминиевые с молибденом</i>       |                               |                |                   |                |                     |                       |                  |              |                         |                           |               |   |
| 38Х2Ю   | 930                           | –              | Вода или<br>масло | 630            | Вода или<br>масло   | 735                   | 884              | 10           | 8                       | –                         | –             | –   |
| 38Х2МНА   | 940                           | –              | То же             | 640            | То же               | 835                   | 980              | 14           | 9                       | –                         | –             | –   |

### 5.7.1. СТАЛИ КОНСТРУКЦИОННЫЕ ЛЕГИРОВАННЫЕ

Подразделяются на горячекатаную, кованую, калиброванную и сталь серебрянку, применяемую в термически обработанном состоянии. Стали поставляются в прутках, в виде полос и в мотках. Стандарт предусматривает 13 групп.

Конструкционные легированные стали получили название по преобладающему в ней легирующему элементу. Условные обозначения основных элементов в марках металлов и сплавов приведены в табл. 5.4. Основные свойства и применение конструкционных легированных сталей приведены в табл. 5.16.

Таблица 5.16

Стали конструкционные легированные, их основные свойства и применение

| Марка стали  | Свойства и применение  |
|--|--|
| 15Х, 15ХА, 20Х, 30Х, 30ХРА, 35Х, 38ХА, 40Х, 45Х, 50Х                 | <b>Хромистая.</b> Детали, работающие с высокой износостойкостью и с минимальной деформацией при термообработке, – шестерни с модулем до 3 мм, шлицевые валы, шпиндели, работающие на подшипниках скольжения; улучшенные и закаленные детали, работающие при средних скоростях и высоких удельных давлениях, – шестерни, шпиндели, валы, пиноли, кольца, зубчатые рейки, роторы гидронасосов, червяки; нагруженные детали автомобилей и тракторов, а также крупные детали, требующие высокой прокаливаемости и общей повышенной прочности |
| 15Г, 20Г, 25Г, 30Г, 35Г, 40Г, 45Г, 50Г, 10Г2, 30Г2, 35Г2, 40Г2, 50Г2 | <b>Марганцовистая.</b> Детали, требующие наряду с повышенной прочностью и износостойкостью наличия пружинящих свойств, – цапги, разрезные кольца, пружинные шайбы, фрикционные диски, коленчатые валы, полуоси, цапфы, червяки, шестерни; детали подвергаются закалке в масле и отпуску; эта сталь успешно заменяет дорогостоящие хромоникелевые стали   |

|  |  |
|--|--|
| 18XF, 35XГ2,<br>35XГ2, 18XГТ,<br>20XГР, 27XГР,<br>25XГТ, 30XГТ,<br>40XГТР, 35XГФ,<br>25XГМ                 | <b>Хромомарганцовая.</b> Детали, работающие при больших окружных скоростях, средних и высоких удельных давлениях и больших ударных нагрузках, – шпинделей и валов, работающих на подшипниках скольжения, кулачковых муфт, червяков, тяг, шестерен; в зависимости от условий эксплуатации детали подвергают улучшению или закалке   |
| 33XC, 38XC, 40XC   | <b>Хромокремнистая.</b> Детали, работающие с высокими нагрузками, – шестерен, шлицевых валов, шатунов, червяков; детали подвергаются закалке с низким отпуском, в результате чего повышаются износостойкость и твердость (около 450 НВ)  |
| 15XM, 20XM,<br>30XM, 30XMA,<br>35XM, 38XM,<br>30X3MФ, 40XMFА   | <b>Хромомолибденовая и хромомолибденованадиевая,</b> для изготовления зубчатых колес, дисков, валов, плунжеров, роторов паротурбин и коленчатых валов невысокой мощности; после термической обработки детали из таких сталей обладают высокой твердостью, износостойкостью и антикоррозионными свойствами  |
| 15XФ, 40XФА  | <b>Хромованадиевая</b> (легированная ванадием для улучшения механических свойств), менее склонна к перегреву, из-за малой прокаливаемости. Детали сравнительно небольших сечений – шестерен, поршневых колец, распределительных валов  |
| 15H2M, 20H2M   | <b>Никельмолибденовая,</b> обладает повышенной вязкостью и теплостойкостью. Применяют для изготовления котлов, труб, фланцев   |
| 20XH, 40XH, 45XH,<br>50XH, 20XHP,<br>12XH2, 12XH3A,<br>20XH3A, 30XH3A,<br>12X2H4A, 20X2H4A                 | <b>Хромоникелевая и хромоникелевая с бором,</b> малочувствительна к перегреву при длительной цементации, не склонны к перенасыщению поверхностного слоя углеродом; в результате совместного действия хрома и никеля повышаются их вязкость, пластичность, вязкость сердцевины и цементированного слоя; для повышения твердости (до 58–62 HRC) хромоникелевые стали подвергают закалке с последующей обработкой холодом (–100, –120°C) или промежуточному высокому отпуску (600–640°C) с последующей закалкой, однако при обработке холодом снижаются предел выносливости, износостойкости и вязкости; у отдельных сталей после отжига не снижается твердость, что затрудняет их обработку резанием, тогда стали приходится подвергать высокому отпуску (630–640°C), снижающему твердость до 217–269 НВ. Из этих сталей изготовляют зубчатые колеса, валы, оси, ролики, клапаны; хромоникелевые стали используют для производства крупных деталей ответственного назначения, которые при эксплуатации несут значительные вибрационные и динамические нагрузки; такие детали можно подвергать глубокому прокаливанию, закалять с охлаждением в масле и даже на воздухе, что значительно уменьшает возможность их коробления  |
| 20XГСА, 25XГСА,<br>30XГС, 30XГСА,<br>35XГСА,<br>30XГСН2А<br>(30XГСНА) и<br>20XГС, 25XГС,<br>30XГС          | <b>Хромокремнемарганцовая и хромокремнемарганцовоникелевая</b> – сталь (хромансиль) обладает высокой прочностью и хорошей свариваемостью, ее применяют в виде листов и труб для производства ответственных стальных конструкций в самолетостроении; после улучшения или изотермической закалки резко повышаются механические свойства конструкций – $\sigma_B = 1650$ МПа (165 кгс/мм <sup>2</sup> ), $\sigma_{0.2} = 1300$ МПа (130 кгс/мм <sup>2</sup> ), $\delta = 9\%$ , $\psi = 40\%$ , $a_n = 0,4$ МПа·м (4 кгс·м/см <sup>2</sup> ), снижается их чувствительность к надрезам; сталь хромансиль склонна к обратимой отпускной хрупкости и обезуглероживанию при нагреве, для достижения более глубокой прокаливаемости и лучшей вязкости в нее добавляют до 1,8% никеля; сталь 30XГСН2А после закалки и низкого отпуска имеет $\sigma_B = 1650$ МПа (165 кгс/мм <sup>2</sup> ), $\sigma_{0.2} = 400$ МПа (<140 кгс/мм <sup>2</sup> ), $\delta = 9\%$ , $a_n = 0,6$ МПа·м (6 кгс·м/см <sup>2</sup> ); эта сталь получила широкое распространение при изготовлении ответственных деталей (шестерен, муфт, валов, кулачков, шатунов, деталей самолетов) и сварных конструкций; чувствительна к концентраторам напряжений, особенно после обычной закалки и отпуска, сделанные из нее детали становятся хрупкими после гальванического покрытия и травления, а также в результате коррозии под напряжением (из-за насыщения водородом) |
| 15XГН2ТА<br>(15XГНТА),<br>20XГНР, 20XГНТР,<br>38XГН  | <b>Хромомарганцовоникелевая и хромомарганцовоникелевая с титаном и бором;</b> за счет введения никеля повышается их прокаливаемость и прочность; такие стали широко применяются в автомобильной и тракторной промышленности; по механическим и технологическим свойствам они близки к хромоникелевым сталям  |
| 14X2H3MA,<br>20XH2M,<br>30XH2MA,<br>38X2H2MA,<br>40XH2MA,<br>40X2H2MA,<br>38XH3MA,<br>18XH4MA;<br>25X2H4MA | <b>Хромоникельмолибденовая.</b> При введении молибдена в хромоникелевые стали предотвращается их склонность к обратимой отпускной хрупкости. Из хромоникельмолибденовой стали производят детали ответственного назначения для химической и авиационной промышленности. После высокого отпуска такие детали охлаждают, в масле или воде (в зависимости от размеров детали) для предотвращения отпускной хрупкости, небольшие по размеру детали можно охлаждать на воздухе   |
| 30XШМФА,<br>36X2H2MФА,<br>38XH3MФА,<br>45XH2MФА,<br>20XH4ФА  | <b>Хромоникельмолибденованадиевая и хромоникельванадиевая;</b> ванадий, введенный в хромоникелевую сталь, обеспечивает получение мелкозернистой структуры, способствует повышению механических свойств стали; хромоникельмолибденовые стали обладают высокой прочностью, пластичностью, вязкостью, низким порогом хладноломкости; введение в хромоникельмолибденованадиевую сталь молибдена позволяет увеличить ее теплостойкость, изготовленные из этой стали детали могут работать при температурах до 450°C; недостатком рассматриваемых сталей является трудность их обработки резанием; хромоникельмолибденованадиевая и хромоникелевая стали применяются для изготовления ответственных крупных деталей, работающих в условиях повышенных температур – роторов турбин, валов высоконапряженных трубовоздушных машин, деталей компрессорных машин и редукторов; высокая прокаливаемость этих сталей дает возможность упрочнять детали термической обработкой  |
| 38X2Ю, 38X2МЮА   | <b>Хромоалюминиевая и хромоалюминиевая с молибденом.</b> Эти стали предназначены для изготовления деталей с высокой твердостью. Их подвергают азотированию. Стали, легированные хромом, вольфрамом, молибденом, ванадием и не содержащие алюминия, после азотирования имеют 600–950 HV (54–66 HRC или 535–690 НВ). Если основными требованиями, предъявляемыми к детали, являются высокая твердость и износостойкость, азотированию подвергают сталь, содержащую алюминий (38X2МЮА); совместное присутствие алюминия, хрома и молибдена увеличивает твердость азотированного слоя до 1200 HV (72 HRC или 780НВ), такой высокой твердостью обладают только твердые сплавы. Детали ответственного назначения, обладающие очень высокой твердостью, износостойкостью, антикоррозионными свойствами, имеющие высокий предел усталости, – валы, работающие на высоких скоростях, плунжеры, копиры, зубчатые колеса, роторы паротурбин, коленчатые валы; детали могут быть тонкостенными, с большим отношением длины к диаметру  |

Механические свойства сталей нормируются ГОСТ 4543–71. Стандартом установлены режимы термической обработки стали, обеспечивающие достижение определенных механических свойств.

Для удобства хранения и применения концы или торцы валов сталей маркируют краской (табл. 5.17).

Таблица 5.17

**Краски, применяемые для маркировки сталей конструкционных легированных**

| Группа стали                                     | Цвет краски          |
|--|----------------------|
| Хромистая  | Зеленый и желтый     |
| Марганцовистая                                   | Коричневый и синий   |
| Хромомарганцовая                                 | Синий и черный       |
| Хромокремнистая                                  | Синий и красный      |
| Хромомолибденовая и хромомолибденевая            | Зеленый и фиолетовый |
| Хромованадиевая                                  | Зеленый и черный     |
| Никельмолибденовая                               | Желтый и фиолетовый  |
| Хромоникелевая и хромоникелевая с бором          | Желтый и черный      |
| Хромокремнемарганцовая                           | Красный и фиолетовый |
| Хромоникельмолибденовая                          | Фиолетовый и черный  |
| Хромоалюминиевая и хромоалюминиевая м молибденом | Алюминиевый          |

### 5.7.2. СТАЛИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ ЛЕГИРОВАННЫЕ

Инструментальные легированные стали (ГОСТ 5950–2000) применяются для изготовления режущего измерительного инструмента, а также штампов.

Стали, предназначенные для изготовления режущего инструмента (резцов, сверл, фрез и др.), должны обладать высокой твердостью ( $HRC \geq 62$ ) и износостойкостью. Если обработка резанием протекает в тяжелых условиях (большие скорости резания, обработка твердых металлов, большое сечение снимаемой стружки), то при этом затрачивается значительная механическая энергия. В процессе резания эта энергия превращается в тепловую, вследствие чего режущая кромка инструмента сильно нагревается. При длительном нагреве режущая кромка инструмента, работающего в тяжелых условиях, должна сохранять высокую твердость, поэтому она должна быть выполнена из стали, имеющей повышенную красностойкость или теплостойкость.

Условия работы измерительного инструмента (скобы, калибры) близки к условиям работы режущего инструмента при низких режимах резания. Отличие состоит лишь в том, что удельные давления на рабочие поверхности при измерении значительно ниже, чем при резании. Для измерительного инструмента важны малая деформация при термической обработке и сохранение постоянства размеров.

В сталях, используемых для изготовления штампов, должны сочетаться твердость и вязкость. Штампы для холодного деформирования металлов должны иметь высокую твердость, так как условия их работы близки к условиям работы режущего инструмента. Молотковые штампы в процессе работы подвергаются удару, поэтому для их изготовления требуется сталь с несколько меньшим содержанием углерода (0,5–0,7%). У таких штампов должна быть хорошая термостойкость – способность сопротивляться резкому изменению температуры (устойчивость против появления трещин). К штамповым инструментам относятся также пресс-формы для литья под давлением. К материалам, предназначенным для их изготовления, предъявляются требования минимальной деформации при термической обработке и хорошей обрабатываемости резанием.

Инструментальные легированные стали содержат карбидообразующие элементы: хром, вольфрам, молибден, марганец, ванадий. Преимущество этих сталей перед углеродистыми инструментальными сталями заключается в том, что они имеют меньшую скорость охлаждения при закалке, за счет чего уменьшается опасность образования трещин, деформации и коробления. Кроме того, эти стали закаляются на большую глубину. Инструментальные легированные стали некоторых марок (например, 9ХС) отличаются большой устойчивости против отпуска, что важно при работе в условиях повышенных температур. Для таких сталей, как, например ХВГ, ХВСГ и Х12М, характерна минимальная деформация при термической обработке, что имеет большое значение при изготовлении штампов, протяжек, резьбовых калибров и других подобных инструментов.

По ГОСТ 5950–73 в инструментальных легированных сталях содержание серы, а также фосфора не должно превышать 0,03%, содержание серы в стали, полученное методом электрошлакового переплава, не должно быть выше 0,015%.

Далее приведены марки инструментальных легированных сталей и рекомендуемые области их применения. Условные обозначения основных элементов в марках металлов и сплавов приведены в табл.5.4.

Инструментальные легированные стали для режущего и измерительного инструмента приведены в табл. 5.18.

Таблица 5.18

**Стали легированные инструментальные, их основные свойства и применение**

| Марка стали   | Свойства и применение   |
|---|---|
| <i>Стали инструментальные легированные неглубокой прокаливаемости</i> |   |
| 7ХФ   | Деревообрабатывающий инструмент (топоры, стамески, долота), инструмент, работающий с ударными нагрузками (зубила, пуансоны)   |
| 8ХФ   | Штампы для холодной обработки, ножи для холодной резки металлов, абразивные матрицы и пуансоны для холодной обрезки заусенцев, кернеры  |
| 9ХФ   | Рамные, ленточные и круглые строгальные пилы, ножи, обрезные матрицы и пуансоны для холодной работы, кернеры и др.  |
| 11ХФ  | Метчики, плашки, развертки, сверла и фрезы диаметром до 30 мм   |
| 13Х   | Бритвенные ножи, лезвия, острый хирургический инструмент, шаберы, штихели, гравировальный инструмент  |
| ХВ4 (ХВ5)   | Резцы, фрезы, сверла и развертки для обработки твердых металлов при небольших скоростях резания, валки с закаленной поверхностью, гравировальные резцы, работающие в напряженных условиях |

|  |   |
|--|---|
| В2Ф  | Ленточные пилы по металлу и ножовочные полотна  |
| <i>Стали инструментальные легированные глубокой прокаливаемости</i>                            |   |
| 9Х1  | Валки для холодной прокатки, дрессировочные валки (для отделочной операции в производстве тонких полос), клейма, пробойники, холодновысадочные матрицы и пуансоны, деревообрабатывающий инструмент  |
| Х  | Зубила для насечки напильников, очень твердые кулачки эксцентриков и пальцев, цилиндрические гладкие калибры и калиберные кольца, резцы токарные, строгальные и долбежные для лекальных и ремонтных мастерских (участков);  |
| 12Х1   | Измерительный инструмент (плитки, калибры, шаблоны, скобы)  |
| 9ХС, ХГС   | Сверла, развертки, метчики, плашки, гребенки, фрезы, машинные штемпели, клейма для холодных работ   |
| ХГС  | Валки для холодной прокатки, холодновысадочные матрицы и пуансоны, вырубные штампы диаметром (толщиной) до 70 мм  |
| ХВГ  | Измерительный и режущий инструмент, для которого недопустимо повышенное коробление при закалке, резьбовые калибры, протяжки, длинные метчики и развертки, плашки, фасонные резцы и другие виды специального инструмента, холодновысадочные матрицы и пуансоны, технологическая оснастка   |
| 9ХВГ   | Резьбовые калибры, лекала сложной формы, сложные и точные штампы для холодных работ (при термообработке не должны подвергаться объемным изменениям и короблению)  |
| ХВСГ   | Круглые плашки, развертки, фасонные резцы и другой режущий инструмент   |
| 8Х6НФТ,<br>9Х5ВФ   | Ножи для деревообрабатывающих станков, строгальные пилы, фрезы, сверла и другой деревообрабатывающий инструмент   |
| 8Х4В3М3Ф2<br>(ЭП570)   | Деревообрабатывающий инструмент, работающий в тяжелых условиях с нагревом режущей кромки, режущий (вырубной) инструмент для обработки металлов в холодном состоянии (ножи для трубообразующих прессов, гильотин и ножиц), инструмент для холодной пластической деформации (шлиценкатные ролики, пуансоны, матрицы, накатники)   |
| <i>Стали инструментальные легированные для штампового инструмента (для холодной обработки)</i> |   |
| Х6ВФ   | Резьбонакатный инструмент (ролики плашки), ручные ножовочные полотна, бритвы, матрицы, пуансоны, зубонакатники и другой инструмент, предназначенный для холодной деформации, фрезы, ножи для обработки древесины  |
| Х12, Х12ВМ   | Штампы для холодной обработки с высокой устойчивостью против истирания (преимущественно рабочей частью округлой формы), не подвергающиеся сильным ударам и толчкам; волоочильные доски и волоки, глазки (фильеры) для калибрования пруткового металла под накатку резьбы; гибочные и формовочные штампы, секции кузовных штампов, матрицы и пуансоны для вырубочных и просечных штампов; штамповки активной части электрических машин и электромагнитных систем электрических аппаратов |
| Х12М, Х12Ф1  | Предназначены для тех же целей, что и стали марок Х12, Х12ВМ; кроме того, из этих сталей изготавливают профильные ролики сложных форм секции кузовных штампов сложных форм, сложные дыропрошивочные матрицы, используемые при формовке листового металла, эталонные шестерни, накатные плашки, волоки, матрицы и пуансоны вырубных просечных штампов со сложной конфигурацией   |
| 7ХГ2ВМ   | Штампы объемного холодного деформирования и вырубной инструмент сложной конфигурации, применяемые в производстве изделий из цветных сплавов и малопрочных конструкционных сталей  |
| 6Х6В3МФС<br>(ЭП569)  | Резьбонакатные ролики, зубонакатники, шлиценкатники, обрезающие матрицы, пуансоны и другой инструмент для холодной пластической деформации металлов повышенной твердости, ножи трубообразующих машин, гильотинных ножиц для резки высокопрочных сталей и сплавов, рубильные ножи для деревообрабатывающей, промышленности, шарошки для разрушения горных пород и другие аналогичные инструменты   |
| <i>Стали инструментальные легированные для штампового инструмента (для горячей обработки)</i>  |   |
| 7Х3, 8Х3   | Инструмент (пуансоны, матрицы) для горячей высадки (крепежа и заготовок из углеродистых и низколегированных конструкционных сталей), детали штампов (матрицы, пуансоны, выталкиватели) для горячего прессования и выдавливания материалов на кривошипных прессах при мелкосерийном производстве, гибочные, обрезающие и просечные штампы  |
| 5ХНМ   | Молотовые штампы паровоздушных и пневматических молотов (масса падающих частей – свыше 3 т), прессовые штампы и штампы машинной скоростной штамповки, используемые при горячем деформировании легких цветных сплавов, блоки матриц для вставок горизонтально–ковочных машин   |
| 5ХНВ, 5ХНВС,<br>5ХГМ,<br>4ХМФС   | Молотовые штампы паровоздушных и пневматических молотов (масса падающих частей – до 3 т), применяемых при деформировании легированных конструкционных и нержавеющей сталей, прессовый инструмент для обработки алюминиевых сплавов  |
| 4Х5МФС   | Мелкие молотовые штампы, крупные (толщиной или диаметром более 200 мм) молотовые или прессовые вставки для горячего деформирования конструкционных сталей и цветных сплавов в условиях крупносерийного и массового производства   |
| 4Х5В2ФС<br>(ЭИ958),<br>4Х5МФ1С<br>(ЭП572)  | Пресс–формы для литья под давлением цинковых, алюминиевых и магниевых сплавов, молотовые и прессовые вставки (толщиной или диаметром до 250 мм) для горячего деформирования конструкционных сталей, инструмент для высадки заготовок из легированных конструкционных и жаропрочных материалов на горизонтально–ковочных машинах   |
| 4Х3ВМФ<br>(ЗИ–2)   | Мелкие молотовые штампы, молотовые и прессовые вставки (толщиной или диаметром до 400 мм), инструмент для горизонтально–ковочных машин, предназначенных для горячего деформирования конструкционных и жаропрочных сталей, инструмент для высокоскоростной машинной штамповки конструкционных сталей   |
| 4Х4ВМФС<br>(ДИ–22)   | Инструмент для высокоскоростной машинной штамповки и высадки на горизонтальноковочных машинах, вставки штампов для горячего деформирования легированных конструкционных и жаропрочных материалов на молотах и кривошипных прессах (сталь 4Х4ВМФС применяется вместо теплоточных сталей марок 4Х5В2ФС, 4Х5МФ1С, 4Х3ВМФ), пресс–формы для литья под давлением медных сплавов  |



|   |  |
|---|--|
| 1193Х3М3Ф   | Инструмент (преимущественно мелкий) для горячего деформирования на кривошипных прессах и горизонтально–ковочных машинах, подвергающийся в процессе работы интенсивному охлаждению, пресс–формы для литья под давлением медных сплавов  |
| 3Х2В8Ф  | Инструмент и пресс–формы для горячего прессования и литья под давлением медных сплавов   |
| 4Х2В5МФ<br>(ЗИ959)–   | Тяжелонагруженный прессовый инструмент для горячего деформирования легированных конструкционных и жаропрочных материалов (мелкие вставки окончательного штампового ручья, мелкие вставные знаки, матрицы и пуансоны для выдавливания)  |
| 4Х2В2МФС,<br>5Х3В3ФМС<br>(ДИ–23)                                    | Тяжелонагруженный прессовый инструмент (прошивные и формирующие пуансоны и матрицы), инструмент для высадки на горизонтально–ковочных машинах, вставки штампов напряженных конструкций для горячего объемного деформирования конструкционных и жаропрочных материалов (эти стали применяются вместо менее теплостойких сталей марок 3Х2В8Ф и 4Х2В5МФ).<br>Наиболее высокую прокаливаемость и теплостойкость имеет сталь марки 5Х3В3МФС |
| <i>Стали инструментальные легированные для ударного инструмента</i> |  |
| 4ХС   | Зубила, обжимки, ножницы для горячей и холодной резки металла, штампы горячей вытяжки  |
| 6ХС   | Пневматические зубила, штампы небольших размеров для холодной штамповки, рубильные ножи  |
| 4ХВ2С   | Пневматический инструмент, зубила, обжимки   |
| 5ХВ2С, 6ХВ2С  | Инструмент для холодной обработки металла, ножи, резбонакатные плашки, пуансоны и обжимные матрицы, деревообрабатывающий инструмент, предназначенный для длительной работы   |
| 6ХВГ  | Пуансоны сложной формы для холодной прошивки фигурных отверстий в листовом и полосовом материале, небольшие штампы для горячей штамповки деталей сложной формы   |

### 5.7.3. СТАЛИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ БЫСТРОРЕЖУЩИЕ

Получили такое название потому, что изготовленные из них инструменты могут работать при больших скоростях резания, не теряя своих свойств. Чем больше скорость резания, тем выше температура разогрева режущей части инструмента. Углеродистые, а также большинство легированных инструментальных сталей при температурах 250–300°C теряют свою твердость вследствие изменения структуры, поэтому не могут использоваться для изготовления инструмента, работающего при больших скоростях резания.

Замечательное свойство быстрорежущих сталей – высокая красностойкость, т. е. способность сохранять высокую твердость и режущую способность при нагревании до 600–650°C. Это свойство выделяет быстрорежущие стали из числа всех других инструментальных сталей. Красностойкость определяется в основном двумя факторами: химическим составом и термической обработкой. Быстрорежущие стали имеют сложный химический состав. Наиболее важным легирующим элементом их является вольфрам (6–18%). Они содержат также ванадий (1–5%). Вольфрам и ванадий почти целиком находятся в виде карбидов, которые, растворяясь в кристаллической решетке железа, обеспечивают красностойкость сталей. Во все быстрорежущие стали входит хром (3–4,5%), большая часть которого растворяется в кристаллической решетке железа. Содержащиеся в быстрорежущих сталях легирующие элементы уменьшают критическую скорость закалки, в результате чего стали становятся самозакаливающимися – они закаляются даже при охлаждении на воздухе. Некоторые быстрорежущие стали содержат кобальт, который повышает их красностойкость, так как препятствует разрастанию карбидов при нагревании. Однако с увеличением содержания кобальта и ванадия шлифуемость сталей ухудшается, повышается их чувствительность к обезуглероживанию. Для того чтобы придать быстрорежущим сталям высокие режущие свойства, их подвергают термической обработке по специальному режиму, который отличается от термической обработки других инструментальных сталей.

Для быстрорежущих сталей принят (ГОСТ 19265–73) следующий принцип маркировки: в начале марки стоит буква Р, следующая за ней цифра указывает среднее содержание вольфрама в процентах, содержание ванадия (в процентах) показывает цифра, стоящая за буквой Ф, молибдена – цифра за буквой М, кобальта – цифра за буквой К. Содержание хрома в марке не указывается, так как оно примерно одинаково у сталей всех марок. Если ванадия содержится менее 2%, он также не указывается. Быстрорежущие стали имеют в своем составе от 0,7 до 1,55% углерода (тем выше, чем больше содержится ванадия). Например, марка стали Р18К5Ф2, это значит, что сталь содержит 18% вольфрама, 5% кобальта, 2% ванадия.

Быстрорежущие стали условно можно разделить на две группы: первая группа – стали, не содержащие кобальта, вторая группа – стали, содержащие повышенное количество кобальта и ванадия. Быстрорежущие стали подразделяются на горячекатаную кованую, калиброванную и серебрянку. Нормы на химический состав распространяются на лист, ленту, поковки, штамповки и другую продукцию; нормирует также твердость, макроструктуру, карбидную неоднородность, глубину обезуглероженного слоя и другие параметры сталей.

Основные свойства и применение быстрорежущих сталей приведены в табл. 5.19.

Стали быстрорежущие, их основные свойства и применение

| Марка стали             | Свойства и применение  |
|-------------------------|--|
| P18                     | Удовлетворительная прочность и шлифуемость, широкий интервал оптимальных закалочных температур; предназначена для изготовления всех видов режущего инструмента, используемого при обработке конструкционных материалов   |
| P12                     | Близка по свойствам к стали марки P18, но имеет более высокую износостойкость и повышенную пластичность при горячем деформировании, шлифуемость удовлетворительная; назначение – такое же, как и стали марки P18   |
| P9                      | Повышенная износостойкость и пластичность при температурах горячей деформации, более узкий интервал оптимальных закалочных температур, шлифуемость ниже, чем у стали марки P18; применяется для изготовления инструмента простой формы, но требующего сложной шлифовальной обработки; таким инструментом обрабатывают обычные конструкционные материалы              |
| P6M3                    | Повышенная прочность, склонность к обезуглероживанию, повышенная пластичность при горячем деформировании, узкий интервал оптимальных закалочных температур, шлифуемость ниже, чем у стали марки P9; из этой стали изготавливают инструмент небольшого сечения, а также инструмент, работающий с ударными нагрузками при обработке обычных конструкционных материалов |
| P6M5                    | Повышенная прочность, значительная склонность к обезуглероживанию, более узкий интервал оптимальных закалочных температур, чем у стали марки P18, шлифуемость удовлетворительная; назначение такое же, как и стали марки P18, однако сталь P6M5 предпочтительнее использовать для изготовления резбонарезного инструмента, работающего с ударными нагрузками         |
| P18Ф2                   | Повышенная износостойкость, более низкая, чем у стали P18 шлифуемость; из этой стали изготавливают инструмент для обработки материалов повышенной твердости и вязкости   |
| P14Ф4, P9Ф5             | Повышенная износостойкость, низкая шлифуемость; предназначены для изготовления инструмента, работающего со снятием небольшой стружки (чистовая обработка) при обработке материалов, обладающих абразивными свойствами в условиях нормального нагрева режущей кромки  |
| P18K5Ф2, P9M4K8, P6M5K5 | Повышенная вторичная твердость (при отпуске в интервале температур от 550 до 560° С), износостойкость пониженная, но лучшая, чем у стали марки P14Ф4, низкая шлифуемость; изготавливаемый из этих сталей инструмент применяется для обработки высокопрочных, нержавеющей и жаропрочных сталей и сплавов в условиях повышенного нагрева режущей кромки                |
| P10K5Ф5                 | Повышенная вторичная твердость, высокая износостойкость, шлифуемость низкая; инструмент из этой стали предназначен для обработки высокопрочных, нержавеющей и жаропрочных сталей и сплавов, а также материалов, обладающих абразивными свойствами в условиях повышенного нагрева режущей кромки  |
| P9K5                    | Повышенная вторичная твердость, но пониженная, близкая к стали марки P9, шлифуемость; инструмент из стали марки P9K5 используется для обработки сталей и сплавов повышенной твердости и вязкости, а также для работы с ударными нагрузками   |
| P9КЮ                    | Повышенная вторичная твердость, шлифуемость, как у стали марки P9K5; из этой стали изготавливают режущий инструмент для обработки нержавеющей и жаропрочных сталей, а также сталей с повышенной твердостью и вязкостью   |

#### 5.7.4. СТАЛИ КОНСТРУКЦИОННЫЕ ПОВЫШЕННОЙ И ВЫСОКОЙ ОБРАБАТЫВАЕМОСТИ РЕЗАНИЕМ

Обработка металлов резанием – одна из наиболее трудоемких и дорогостоящих операций. На эту операцию приходится 40% заводской себестоимости производства машин. С появлением автоматизированных металлорежущих станков возникла проблема стружкоудаления. Дробление стружки, ее транспортировка оказывают весьма существенное влияние на производительность труда. В связи с этим созданы специальные автоматные стали, способные образовывать ломкую легкоудаляемую стружку. Это стали повышенной и высокой обрабатываемости резанием. В процессе их обработки получается чистая поверхность, снижается износ металлорежущего инструмента. Высокая обрабатываемость таких сталей достигается за счет увеличения содержания серы и фосфора (до 0,35%), а также введения свинца (до 0,35%). ГОСТ 1414–75 предусматривает марки автоматных сталей, которые объединены в шесть групп: первая группа – углеродистые сернистые: A11, A12, A20, A30 и A40Г; вторая группа – углеродистые свинецсодержащие: AC40; третья группа – углеродистые сернистоселенистые: A35E и A45E; четвертая группа – хромистые сернистоселенистые: A40XE; пятая группа – сернистомарганцовистые свинецсодержащие: AC14, AC35Г2 и AC45Г2; шестая группа – легированные свинецсодержащие: AC12XH, AC14XГH, AC19XГH, AC20XГHМ, AC30XМ; AC38XГM. AC40XГHМ.

Буквы в марках сталей обозначают: А – автоматная сернистая, АС – автоматная свинецсодержащая. Остальные условные обозначения марок сталей соответствуют ГОСТ 4543–71.

Автоматные стали применяются в крупносерийном и массовом производствах. Из них изготавливают детали неотвеченного назначения для автомобильной и тракторной промышленности (крепеж, оси, втулки и др.). Свойства сталей конструкционных повышенной и высокой обрабатываемости приведены в табл. 5.20, применение – в табл. 5.21.

Свойства сталей конструкционных повышенной и высокой обрабатываемости резанием (ГОСТ 1414 – 75)

| Марка | Механические свойства |            |              |                    |         | Технологические свойства  |               |   |
|-------|-----------------------|------------|--------------|--------------------|---------|---------------------------|---------------|---|
|       | $\sigma_T$            | $\sigma_B$ | $\delta, \%$ | Дж/см <sup>3</sup> | НВ      | обрабатываемость резанием | свариваемость | пластичность при холодной обработке давлением |
|       | МПа*                  |            |              |                    |         |                           |               |   |
| A12   | 284                   | 441–560    | 22           | –                  | 157     | ВВ                        | В             | У   |
|       | –                     | 510–784    | 7            |                    | 164–213 |                           |               |   |
| A20   | –                     | 451–600    | 20           | –                  | 165     | В                         | –             | –   |
|       |                       | 530–784    | 7            |                    | 164–213 |                           |               |   |
| A30   | –                     | 510–600    | 15           | –                  | 183     | В                         | –             | –   |
|       |                       | 539–821    | 6            |                    | 178–213 |                           |               |   |
| A40Г  | –                     | 586–736    | 14           | –                  | 203     | В                         | –             | –   |
|       |                       | 586–784    | 17           |                    | 176–225 |                           |               |   |

\*В числителе – горячекатаная, в знаменателе – холоднокатаная сталь.

Таблица 5.21

Применение сталей конструкционных повышенной и высокой обрабатываемости резанием (ГОСТ 1414 – 75)

| Марка     | Применение   |
|-----------|--|
| A 12, A20 | Для сложнопрофильных мелких деталей, к которым предъявляются повышенные требования по качеству обработанной поверхности (зубчатые колеса, винты, гайки, оси, шпильки, кольца). Сталь A20 рекомендуется для деталей, подвергаемых цементации и цианированию |
| A30, A40Г | Для труднообрабатываемых деталей, работающих при высоких нагрузках   |

Примечания: 1. Для сварных конструкций сталь не применяют. 2. Коррозионная стойкость всех сталей низкая.

### 5.7.5. СТАЛИ РЕССОРНО–ПРУЖИННЫЕ (ГОСТ 14959–79)

Используют для изготовления пружин, рессор, пружинных шайб, гибких мембран, сильфонов и других аналогичных деталей, которые должны обладать высоким пределом упругости, усталостной стойкостью к многократным нагружениям, достаточными пластическими свойствами. Эти стали выпускаются в виде проволоки и полос различного сечения. В зависимости от основного легирующего элемента их подразделяют на углеродистые – 65, 70, 75, 85; марганцовые – 60Г 65Г, 70Г, 55ГС; кремнистые – 50С2, 55С2, 55С2А, 60С2 60С2А, 70С3А; хромомарганцовые – 50ХГ, 50ХГА 55ХГР; хромованадиевую – 50ХФА; хромомарганцованадиевую – 50ХГФА; хромокремневанадиевую – 60С2ХФА; хромокремнистые – 60С2ХА, 50ХСА; вольфрамкремнистую – 65С2ВА; никелькремнистую – 60С2Н2А; кремнемарганцовую – 60СГА и хромокремнистую – 70С2ХА.

Сталь поставляется горячекатаной, отожженной или высокоотпущенной и без термической обработки. Твердость и механические свойства стали, а также качество проката нормированы ГОСТ 14959–79.

Свойства рессорно–пружинной стали приведены в табл. 5.22, применение – в табл. 5.23.

Таблица 5.22

Свойства и рекомендуемые режимы термической обработки стали рессорно–пружинной (ГОСТ 14959–79)

| Марка стали | Режим термической обработки |                  |                         | Механические свойства |                  |              |            |
|-------------|-----------------------------|------------------|-------------------------|-----------------------|------------------|--------------|------------|
|             | температура закалки, °С     | закалочная среда | температура отпуска, °С | $\sigma_T$ , МПа      | $\sigma_B$ , МПа | $\delta, \%$ | $\psi, \%$ |
| 65          | 830                         | Масло            | 470                     | 785                   | 981              | 10           | 35         |
| 70          | 830                         | То же            | 470                     | 834                   | 1030             | 9            | 30         |
| 75          | 820                         | »                | 470                     | 883                   | 1079             | 9            | 30         |
| 80          | 820                         | »                | 470                     | 932                   | 1079             | 8            | 30         |
| 85          | 820                         | »                | 470                     | 981                   | 1128             | 8            | 30         |
| 60Г         | 830                         | »                | 470                     | 785                   | 981              | 8            | 30         |
| 66Г         | 830                         | »                | 470                     | 785                   | 981              | 8            | 30         |
| 70Г         | 830                         | »                | 470                     | 834                   | 1030             | 7            | 25         |
| 55С2, 55С2А | 870                         | Масло или вода   | 470                     | 1177                  | 1275             | 6            | 30         |
| 60С2        | 870                         | Масло            | 470                     | 1177                  | 1275             | 6            | 25         |
| 70С3А       | 850                         | То же            | 470                     | 1471                  | 1668             | 6            | 25         |
| 60С2Г       | 870                         | »                | 470                     | 1324                  | 1471             | 6            | 25         |
| 50ХГ, 50ХГА | 850                         | »                | 470                     | 1177                  | 1275             | 7            | 35         |
| 55ХГР       | 850                         | »                | 470                     | 1177                  | 1275             | 7            | 35         |
| 60С2А       | 870                         | »                | 420                     | 1373                  | 1570             | 6            | 20         |

|         |     |   |     |      |      |   |    |
|---------|-----|---|-----|------|------|---|----|
| 50ХФА   | 850 | » | 470 | 1079 | 1275 | 8 | 35 |
| 50ХГФА  | 850 | » | 470 | 1324 | 1422 | 6 | 35 |
| 55С2ГФ  | 870 | » | 470 | 1373 | 1570 | 6 | 25 |
| 60С2ХА  | 870 | » | 470 | 1324 | 1471 | 6 | 25 |
| 60С2ХФА | 870 | » | 470 | 1471 | 1668 | 6 | 25 |
| 65С2ВА  | 850 | » | 420 | 1666 | 1862 | 5 | 20 |
| 60С2Н2А | 870 | » | 470 | 1324 | 1471 | 8 | 30 |

Таблица 5.23

## Применение стали рессорно-пружинной (ГОСТ 14959-79)

| Марка                        | Назначение  |
|------------------------------|---|
| 60С2, 60С2А                  | Для рессор из полосовой стали толщиной 3–16 мм и пружинной ленты толщиной 0,08–3 мм; для витых пружин из проволоки диаметром 3–16 мм. Обрабатываются резанием плохо. Максимальная температура эксплуатации 250 °С               |
| 70С3А                        | Для тяжело нагруженных пружин ответственного назначения. Сталь склонна к графитизации   |
| 50ХГ, 50ХГА<br>50ХФА, 50ХГФА | Для рессор из полосовой стали толщиной 3–18 мм. Обрабатывается резанием плохо. Для ответственных пружин и рессор, работающих при повышенной температуре (до 300 °С); для пружин, подвергаемых многократным переменным нагрузкам |
| 60С2ХА                       | Для крупных высоконагруженных пружин и рессор ответственного назначения   |
| 60С2Н2А,<br>65С2ВА           | Для ответственных высоконагруженных пружин и рессор, изготавливаемых из калиброванной стали и пружинной ленты   |

*Примечания:* 1. Хромоникелевые и кремниеникелевые стали менее склонны к обезуглероживанию. Наилучшее сочетание технологических и эксплуатационных свойств имеет сталь 60С2Н2А. 2. Коррозионная стойкость всех сталей низкая.

## 5.7.6. СТАЛИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ШАРИКОВЫХ И РОЛИКОВЫХ ПОДШИПНИКОВ

Шариковые и роликовые подшипники изготавливают из высококачественных сталей (ГОСТ 801–78), способных противостоять сложным сосредоточенным и переменным напряжениям, возникающим в зоне контакта шариков или роликов с поверхностью беговых дорожек колец подшипников качения.

Стандарт предусматривает четыре марки сталей ШХ6, ШХ9, ШХ15 и ШХ15СГ.

Для прецизионных подшипников (ГОСТ 21022–75) сталь производится вакуумно-дуговым и электрошлаковым переплавом (ШХ15Ц1 и ШХ15–ШД соответственно). Для изготовления подшипников предназначены цементируемые и цианируемые стали марок 20Х2Н4А, 20Х2Н4А–Ш, 20ХЗГ2Ф и 18ХГТ. Из сталей марок 12Х13, 20Х13 и 30Х13 (ГОСТ 5632–72) изготавливаются коррозионностойкие подшипники. Содержание серы в сталях допускается в пределах до 0,02%, фосфора – до 0,027%. Кроме подшипников из высококачественных сталей можно выполнять детали, от которых требуется высокая износостойкость при сосредоточенных переменных нагрузках (детали насосов высокого давления, копиры, ролики, пальцы, храповые механизмы).

## 5.7.7. СТАЛИ ТЕПЛОУСТОЙЧИВЫЕ

Теплоустойчивые стали – легированные, перлитного и мартенситного классов предназначены для изготовления деталей, работающих в течение длительного времени под нагрузкой и при температуре до 873К (600°С).

Рекомендуемые марки и области применения теплоустойчивой стали, а также интервалы рабочих температур, приведены в табл. 5.24.

Таблица 5.24

## Стали теплоустойчивые, их основные свойства и применение

| Марка стали               | Свойства и применение   |
|---------------------------|---|
| 12МХ                      | Производство труб пароперегревателей, трубопроводов и коллекторных установок, высокого давления поковок для паровых котлов и трубопроводов, деталей цилиндров газовых турбин; до 783 К (510°С); |
| 12Х1МФ                    | Назначение то же, что и стали марки 12МХ; до 843–858 К (570–585°С);   |
| 20Х1М1Ф1ТР<br>(ЭИ182)     | Изготовление крепежных деталей турбин и фланцевых соединений трубопроводов и аппаратуры; до 773–853 К (500–580°С)   |
| 20Х1М1Ф1БР<br>(ЭП44)      | Назначение и рабочие температуры те же, что и стали марки 20Х1М1Ф1ТР; 25Х1МФ (ЭЙ 10) – изготовление болтов, плоских пружин, шпилек и других крепежных деталей; до 783 К (510°С)                 |
| 25Х2М1Ф (ЭИ723)           | Назначение то же, что и стали 25Х1МФ; до 793–823 К (520–550°С)  |
| 18Х3МВ (ЭИ578)            | Изготовление труб для гидрогенизационных установок; до 723–773 К (450–500°С)  |
| 20Х3МВФ (ЭИ415,<br>ЭИ579) | Производство роторов, дисков, поковок, болтов, труб высокого давления для химической аппаратуры и гидрогенизационных установок; до 773–833 К (500–560°С)  |
| 15Х5 (Х5)                 | Изготовление труб, деталей насосов, лопаток турбомашин, подвесок котлов; до 873 К (600°С)   |
| 15Х5М (Х5М),<br>15Х5ВФ    | Производство корпусов и внутренних элементов аппаратуры нефтеперерабатывающих заводов, крекинговых труб, деталей насосов, задвижек, крепежа; 873 К (600°С)                                      |
| 12Х8ВФ                    | Изготовление труб печей, аппаратов и коммуникаций нефтезаводов; до 773 К (500°С)  |

Сталь каждой марки имеет определенный срок работы (от 1000 до 100 тыс. ч).

В ГОСТ 20072–75 приведены режимы термической обработки и зависящие от нее механические свойства по каждой марке теплоустойчивой стали.

### 5.7.8. СТАЛИ И СПЛАВЫ ЛЕГИРОВАННЫЕ С ОСОБЫМИ СВОЙСТВАМИ

В современной технике используются металлы и сплавы с самыми различными свойствами. Легированные стали и сплавы с особыми свойствами разрабатывались на основе широко распространенных в промышленности легированных сталей с учетом особых условий эксплуатации техники и агрессивности среды, в которой приходится работать машинам, и с учетом специфики их конструкций.

В зависимости от основных свойств эти легированные стали и сплавы могут быть представлены (по ГОСТ 5632–72) тремя группами:

*первая группа* – коррозионностойкие (нержавеющие) стали и сплавы;

*вторая группа* – жаростойкие стали и сплавы;

*третья группа* – жаропрочные стали и сплавы.

В табл.5.24 приведены свойства основных марок сталей и сплавов, в табл.5.26 рекомендуемые области их применения, входящие в каждую группу.

Таблица 5.25

Свойства сталей коррозионностойких (ГОСТ 5632–72)

| Марка стали | Механические свойства |            |              |                       |         | Технологические свойства  |               |                                     |
|-------------|-----------------------|------------|--------------|-----------------------|---------|---------------------------|---------------|-------------------------------------|
|             | $\sigma_T$            | $\sigma_B$ | $\delta, \%$ | $a_n, \text{Дж/см}^2$ | НВ      | обрабатываемость резанием | свариваемость | пластичность при холодной обработке |
|             | МПа                   |            |              |                       |         |                           |               |                                     |
| 12X13       | 415                   | 588        | 20           | 9                     | 114–177 |                           |               |                                     |
| 20X13       | 441                   | 647        | 16           | 8                     | 124–196 | У                         | Н             | У                                   |
| 08X13       | 245                   | 431        | 23           | 7                     | –       | У                         | Н             | Н                                   |
| 20X23H13    | –                     | 478        | 35           | 7                     | –       | –                         | –             | –                                   |
| 12X18H9     | 216                   | 528        | 38           | –                     | –       | У                         | У             | У                                   |
| 17X18H9     | 260                   | 588        | 35           | –                     | –       | Н                         | В             | В                                   |
| 12X18H9T    | 216                   | 532        | 38           | –                     | 137–165 | Н                         | В             | В                                   |
| 12X18H10T   | 285                   | 528        | 38           | –                     | –       | Н                         | В             | У                                   |

Таблица 5.26

Рекомендуемые области применения сталей и сплавов легированных с особыми свойствами

| Марка стали  | Основные свойства и применение   |
|--|--|
| <i>Первая группа – коррозионностойкие (нержавеющие) стали и сплавы</i> |  |
| 20X13, 08X13, 12X13, 25X13H2   | Изготовление деталей с повышенной пластичностью, подвергающихся ударным нагрузкам (клапанов гидравлических прессов предметов домашнего обихода), деталей, работающих в слабоагрессивных средах (при атмосферных осадках в водных растворах солей, органических кислот)   |
| 30X13, 40X13   | Производство режущего, мерительного и хирургического инструмента, пружин, карбюраторных игл, клапанных пластин компрессоров, предметов домашнего обихода   |
| 14X17H12   | Применяется в основном в химической и авиационной промышленности; обладает достаточно удовлетворительными технологическими свойствами; наибольшая коррозионная стойкость обеспечивается после закалки с высоким отпускком  |
| 95X18  | Производство шарикоподшипников высокой твердости для нефтяного оборудования, ножей высшего класса, различных втулок и деталей, испытывающих сильный износ; подвергается закалке с низким отпускком   |
| 12X17  | Изготовление предметов домашнего обихода, кухонной утвари, оборудования для предприятий пищевой и легкой промышленности; не рекомендуют для производства сварных конструкций; применяется в отожженном состоянии   |
| 08X17T   | Назначение то же, что стали марки 12X17; рекомендуется в качестве заменителя сталей марок 12X18H9T и 12X18H10T при изготовлении конструкций, не подвергающихся воздействию ударных нагрузок, работающих при температурах не ниже –20 °С  |
| 15X25T   | Производство теплообменной аппаратуры (труб, соединительных фланцев, вентилях, клапанов, кранов), работающих в агрессивных средах; используют в качестве заменителя стали марки 12X18H10T при изготовлении сварных конструкций, не подвергающихся в процессе эксплуатации действию ударных нагрузок при температурах не ниже –20 °С, работающих в более агрессивных средах, чем среды, рекомендуемые для стали марки 08X17T; не рекомендуется применение стали при температурах 400–700 °С |
| 15X28  | Назначение то же, что и стали марки 15X25T, используется также для спаев со стеклом; сварные соединения этой стали склонны к межкристаллитной коррозии   |
| 20X13H4Г9  | Применяется в качестве заменителя холоднокатаных сталей марок 20 X 13 и др.  |
| 12X18H9 и 17X18H9  | При производстве прочных и легких конструкций, соединяемых точечной электросваркой; хорошо сопротивляется атмосферной коррозии   |
| 10X14АГ15, 10X14П4НЗ   | Назначение то же, что стали марки 20X13H4Г9, кроме того, из сталей этих марок делают предметы домашнего обихода и стиральные машины  |
| 09X15H8Ю   | Производство изделий, работающих в атмосферных условиях, уксуснокислых и других средах, а также упругих элементов; повышенная прочность достигается после отпуска при температурах 750 и 850 °С  |
| 07X16H6  | Назначение то же, что и стали марки 09X15H8Ю   |



|  |   |
|--|---|
| 08X17H5M3  | Назначение то же, что и стали марки 09X15H8Ю; может использоваться в сернокислых средах, хорошо наваривается  |
| 08X18Г8Н2Т   | Может заменить стали марок 12X18Н10Т и 08X18Н10Т при изготовлении сварной аппаратуры, работающей в агрессивных средах в химической, пищевой и других отраслях промышленности  |
| 08X18Н10Т  | Изготовление изделий, работающих в средах более высокой агрессивности, чем среды, допускаемые для сталей марок 12X18Н10Т и 12X18Н12Т; по сравнению со сталями этих марок имеет повышенную сопротивляемость межкристаллитной коррозии  |
| 12X18Н10Т, 12X18Н9Т  | Производство сварной аппаратуры для различных отраслей промышленности   |
| 06X18Н11   | Может применяться для тех же целей, что и сталь марки 08X18Н10  |
| 08X18Н12Т  | Назначение то же, что и стали марки 08X18Н10; обладает высокой сопротивляемостью межкристаллитной коррозии  |
| 12X18Н12Т  | Назначение то же, что и стали марки 08X18Н10  |
| 08X18Н12Б  | Используется для тех же целей, что и сталь марки 08X18Н10; имеет повышенную стойкость против точечной коррозии и более высокую стойкость при работе в азотной кислоте, чем сталь марки 12X18Н10Т  |
| 06ХН28МДТ  | Производство сварных конструкций, эксплуатируемых при температурах до 80°C в серной кислоте различной концентрации, в кислых и сернокислых средах, кроме 55%-ной уксусной и фосфорной кислот  |
| 03ХН28МДТ  | Применяется для тех же целей, что и сталь марки 06ХН28МДТ; обладает повышенной стойкостью к межкристаллитной и ножевой коррозии   |
| 09X16H4Б   | Изготовление высокопрочных штамповсварных конструкций, работающих в агрессивных средах; большая коррозионная стойкость достигается после закалки с низким отпускком   |
| 08X17H13M2T  | Назначение то же, что и стали марки 10X17H13M2T; отличается стойкостью против коррозии, в том числе межкристаллитной  |
| 09X17H7Ю   | Изготовление крыльевых устройств, рулей и кронштейнов, работающих в морской воде; наибольшая коррозионная стойкость обеспечивается после двукратного отпуска на 740–760°C   |
| 09X17H7Ю1  | Производство судовых валов, работающих в морской воде; коррозионная стойкость достигается, как и у стали марки 09X17H7Ю   |
| 08X17H6Т   | Используется в качестве заменителя сталей марок 09X17HЮ7 и 09X17H7Ю1, обладает более высокой стойкостью против межкристаллитной коррозии, чем заменяемые стали  |
| 07X21Г7АН5   | Изготовление сварных изделий, работающих при криогенных температурах до –253°C и в средах средней агрессивности   |
| 03X21H21M4ГБ   | Производство сварных конструкций и узлов, работающих в условиях действия горячей фосфорной кислоты с примесью фтористых сернистых соединений (серной кислоты низкой концентрации с температурой не выше 80°C, азотной кислоты с температурой до 95°C); характеризуется хорошей свариваемостью |
| ХН65МВ   | Изготовление сварных конструкций, работающих при повышенных температурах в сернокислых и серноокислых средах, в концентрированной уксусной кислоте и других весьма агрессивных средах   |
| Н70МФ  | Производство сварных конструкций, работающих при высоких температурах в соляной, серной, фосфорной кислотах и других средах восстановительного характера; этот сплав устойчив к межкристаллитной коррозии   |
| 08X18Т1  | Применяется для тех же целей, что и стали марок 12X17 и 08X17Т, но преимущественно при изготовлении штампуемых изделий; может заменить стали марок 12X18Н9Т и 12X18Н10Т   |
| 06ХН28МТ   | Изготовление сварных конструкций и узлов, работающих в менее агрессивных средах, чем изделия из стали марки 06ХН28МДТ; удовлетворительная сопротивляемость межкристаллитной коррозии  |
| <i>Вторая группа – жаростойкие стали и сплавы</i>  |   |
| <i>(<math>T_H</math> – температура начала интенсивного окисления в воздушной среде;<br/><math>T_{max}</math> – максимальная температура, рекомендуемая для применения в течение длительного времени)</i> |   |
| 40X9C2   | Изготовление клапанов автомобильных, тракторных и дизельных моторов, труб рекуператоров, теплообменников, колосников, работающих при температурах до 850°C; устойчива против серосодержащих сред  |
| 40X10C2M   | Изготовление клапанов моторов; устойчива против серосодержащих сред, температура начала интенсивного окисления в воздушной среде при $T_H = 850^\circ\text{C}$  |
| 30X13H7C2  | Изготовление клапанов автомобильных моторов; $T_H = 950^\circ\text{C}$  |
| 15X6CЮ   | Производство деталей котельных установок и труб; $T_H = 700^\circ\text{C}$  |
| 12X13  | Изготовление деталей турбин и котлов, а также труб; $T_H = 700^\circ\text{C}$   |
| 10X13CЮ  | Изготовление клапанов автотракторных моторов, различных деталей, работающих при повышенных температурах; устойчива против серосодержащих сред   |
| 12X17, 08X17Т, 08ХН  | Производство теплообменных аппаратов оборудования для предприятий пищевой промышленности, труб; $T_H = 900^\circ\text{C}$   |
| 15X18CЮ  | Производство труб, аппаратуры и деталей, работающих в серосодержащих средах   |
| 15X25Т   | Изготовление различной аппаратуры, деталей, чехлов термпар, электродов искровых зажигательных свечей, теплообменных аппаратов; $T_H = 1050^\circ\text{C}$   |
| 15X28  | Назначение то же, что и для марки 15X25Т; $T_H = 1100–1150^\circ\text{C}$   |
| 08X20H14C2   | Изготовление труб, работающих в условиях науглероживающих сред $T_H = 1000–1050^\circ\text{C}$  |
| 20X20H14C2   | Производство печных конвейеров и ящиков для цементации; устойчива к науглероживающим средам; $T_H = 1000–1050^\circ\text{C}$  |
| 20X23H13   | Изготовление труб пиролиза метана и пирометрических трубок, склонна к повышению хрупкости при температурах 600–800°C; максимальная температура, рекомендуемая для применения в течение длительного времени, $T_{max} = 1000^\circ\text{C}$ ; $T_H = 1050^\circ\text{C}$                       |

|   |  |
|---|--|
| 09X14H16Б   | Производство труб для перегревателей и установок сверхвысокого давления $T_{\max}=650^{\circ}\text{C}$ ; $T_{\text{H}}=850^{\circ}\text{C}$  |
| 08X18H10, 12X18H9,<br>08X18H10T,<br>12X18H10T, 12X18H9T | Изготовление труб и деталей печной арматуры, теплообменных аппаратов, муфелей, реторт, патрубков, коллекторов, выхлопных систем, электродов (искровых зажигательных систем; применяются в тех случаях, когда не могут использоваться безникелевые стали; $T_{\max}=800^{\circ}\text{C}$ ; $T_{\text{H}}=850^{\circ}\text{C}$ |
| 36X18H25C2  | Изготовление печных конвейеров и других нагруженных деталей, работающих в науглероживающих средах; $T_{\max}=1000^{\circ}\text{C}$ ; $T_{\text{H}}=1100^{\circ}\text{C}$   |
| 10X23H18, 20X23H18                                      | Изготовление труб, деталей, установок для конверсии (метана и пиролиза, листовых деталей; к повышению хрупкости при температурах $600\text{--}800^{\circ}\text{C}$ ; $T_{\max}=1000^{\circ}\text{C}$ ; $T_{\text{H}}=1050^{\circ}\text{C}$   |
| 12X25H16Г7АР  | Изготовление деталей газопроводных систем (из тонких листов, ленты, сортового проката); может применяться в качестве заменителя жаростойких сплавов на никелевой основе; $T_{\max}=1050^{\circ}\text{C}$ ; $T_{\text{H}}=1100^{\circ}\text{C}$   |
| 55X20Г9АН4,<br>45X22H4МЗ                                | Изготовление клапанов автомобильных моторов; $T_{\text{H}}=950^{\circ}\text{C}$  |
| 20X25H20C2  | Изготовление (подвесок и опор для котлов, труб электролизных и пиролизных установок; склонна к повышению хрупкости при температурах $600\text{--}800^{\circ}\text{C}$ ; $T_{\max}=1050^{\circ}\text{C}$ ; $T_{\text{H}}=1100^{\circ}\text{C}$  |
| ХН38ВТ  | Изготовление деталей газовых систем; рекомендуется для замены жаростойкого сплава марки ХН78Т $T_{\max}=1000^{\circ}\text{C}$ ; $T_{\text{H}}=1050^{\circ}\text{C}$  |
| ХН28ВМАБ  | Производство листовых деталей турбин; $T_{\max}=800\text{--}1000^{\circ}\text{C}$ ; $T_{\text{H}}=1100^{\circ}\text{C}$  |
| ХН60Ю   | Изготовление деталей газопроводных систем и аппаратуры; $T_{\max}=1200^{\circ}\text{C}$ ; $T_{\text{H}}=1250^{\circ}\text{C}$  |
| ХН75МБТЮ  | Применяется для тех же целей, что и сплав ХН60Ю; $T_{\max}=1050^{\circ}\text{C}$ ; $T_{\text{H}}=1100^{\circ}\text{C}$   |
| ХН78Т   | Изготовление деталей газопроводных систем, сортовых деталей и труб; неустойчива в серосодержащих средах; $T_{\max}=1100^{\circ}\text{C}$ ; $T_{\text{H}}=1150^{\circ}\text{C}$   |
| ХН60ВТ  | Изготовление листовых деталей двигателей; $T_{\max}=1000^{\circ}\text{C}$ ; $T_{\text{H}}=1100^{\circ}\text{C}$  |
| ХН70Ю   | Изготовление деталей газопроводных систем; неустойчива в серосодержащих средах; $T_{\max}=1200^{\circ}\text{C}$ ; $T_{\text{H}}$ – более $1250^{\circ}$  |
| <i>Третья группа – жаропрочные стали и сплавы</i>       |  |
| 40X9C2, 40X10C2М  | Изготовление клапанов моторов и крепежных деталей  |
| 11X11H2B2МФ, 13X11H<br>2B2, 16X11H2B2МФ                 | Изготовление дисков компрессоров, лопат и других нагруженных деталей   |
| 20X13, 12X13  | Производство лопаток паровых турбин, клапанов, болтов, труб  |
| 13X14H3B2ФР   | Изготовление высоконагруженных деталей, дисков, валов, стяжных болтов, лопаток и других деталей, работающих при повышенной влажности   |
| 15X11МФ   | Производство рабочих и направляющих лопаток паровых турбин   |
| 15X12ВНМФ   | Производство роторов, дисков, лопаток, болтов  |
| 45X22H4МЗ,<br>55X20Г9АН4                                | Изготовление клапанов моторов  |
| 18X12ВМБФР  | Изготовление поковок, турбинных лопаток, крепежных деталей   |
| 08X13   | Производство лопаток паровых турбин, клапанов, болтов, труб  |
| 37X12H8Г8МФБ  | Производство дисков турбин   |
| 10X11H20ТЗР,<br>10X11H20Т2Р                             | Изготовление деталей турбин (из поковок, сортового проката, листа)   |
| 10ХПН23Т3МР   | Изготовление пружин и крепежных деталей  |
| 09X16H4Б,<br>09X14H19B2БР                               | Производство труб пароперегревателей, трубопроводов установок сверхвысокого давления и листового проката   |
| 18X11МНФБ,<br>20X12ВНМФ                                 | Изготовление высоконагруженных деталей, лопаток паровых турбин, деталей клапанов, поковок, дисков, роторов паровых и газовых турбин  |
| 09X14H16Б   | Производство труб пароперегревателей и трубопроводов установок сверхвысокого давления (из листового проката)   |
| 09X14Ш9B2БР1  | Производство роторов, дисков, лопаток турбин   |
| 45X14H14B2М   | Изготовление клапанов моторов, поковок, деталей трубопроводов  |
| 14X17H2   | Производство рабочих лопаток турбин, дисков, валов, втулок   |
| 40X15H7Г7Ф2МС   | Изготовление лопаток газовых турбин и крепежных деталей  |
| 08X15H24B4ТР  | Изготовление рабочих и направляющих лопаток, крепежных деталей, дисков газовых турбин  |
| 08X16H13M2Б   | Производство поковок для дисков и роторов, лопаток, болтов   |
| 09X16H15M3Б   | Производство труб пароперегревателей и трубопроводов высокого давления   |
| 12X18H10Т,<br>12X18H12Т, 12X18H9Т                       | Изготовление деталей выхлопных систем и труб (из листового и сортового проката); сталь 12X18H12Т более стабильна при эксплуатации, чем сталь марки 12X18H10Т   |
| 31X19H9МВБТ   | Производство роторов, дисков, болтов   |
| 10X23H18  | Производство труб и арматуры, работающей при пониженных нагрузках; при температурах $600\text{--}800^{\circ}\text{C}$ склонна к повышению хрупкости  |
| 20X23H18  | Изготовление деталей машин для химической и нефтяной промышленности, газопроводов, камер сгорания; из этой стали можно изготавливать нагревательные приборы сопротивления  |
| 12X25H16Г7АР  | Изготовление деталей (из листового и сортового проката), работающих при умеренных напряжениях; заменяет сплавы ХН75МБТЮ и ХН78Т  |

|  |  |
|--|--|
| ХН35ВТ   | Производство лопаток газовых турбин, дисков, роторов, крепежных деталей  |
| ХН35ВТЮ  | Производство дисков, лопаток турбин, компрессоров  |
| ХН38ВТ   | Изготовление деталей (из листового проката), работающих при умеренных напряжениях; применяется взамен сплава ХН78Т                               |
| ХН60Ю  | Изготовление деталей турбин (из листового проката), работающих при умеренных напряжениях, а также нагревательных приборов сопротивления          |
| ХН70ВМЮТ   | Производство лопаток и крепежных деталей   |
| ХН70ВМТЮ   | Производство лопаток турбин  |
| ХН32Т  | Изготовление газоотводящих труб и деталей (из листового проката) для высокотемпературных нефтехимических установок                               |
| ХН80ТБЮ  | Изготовление лопаток и крепежных деталей турбин  |
| ХН70МВТЮБ  | Производство лопаток турбин  |
| ХН70Ю  | Изготовление деталей (из листового проката) и газопроводов, работающих при умеренных напряжениях, а также нагревательных элементов сопротивления |
| ХН78Т  | Изготовление труб, работающих при температурах до 1000°С   |
| ХН67МВТЮ   | Производство лопаток, корпусов, дисков, деталей турбин (из листового проката)  |
| ХН75МБТЮ   | Изготовление деталей турбин (из листового проката)   |
| ХН77ТЮР  | Производство дисков и лопаток турбин   |
| ХН60ВТ   | Изготовление деталей турбин из листового проката   |
| ХН57МТВЮ   | Изготовление лопаток, корпусов и других деталей турбин   |
| ХН55МВЮ,<br>ХН62МВКЮ                             | Производство лопаток и дисков турбин   |
| ХН65МТЮ  | Производство крепежных деталей, рабочих и направляющих лопаток газовых турбин  |
| ХН56МВТЮ   | Изготовление высоконагруженных и других деталей, штуцеров, фланцев (из листового проката)  |
| ХН70МВТЮФ,<br>ХН75МВЮ,<br>ХН56МВКЮ,<br>ХН55МВТКЮ | Производство лопаток турбин  |
| ХН77ТЮРУ   | Изготовление дисков и лопаток турбин с ограниченным сроком действия  |

ГОСТ 5632–72 рекомендует оптимальные интервалы температур, при которых детали, изготовленные из перечисленных выше сталей и сплавов, обладают наибольшей надежностью в работе. Кроме того, в стандарте для каждой марки стали или сплава указаны температура начала интенсивного образования окислы и срок работы изготовленных из них деталей (кратковременный, ограниченный, длительный и весьма длительный). За кратковременный срок работы условно принимают время службы детали до 100 ч, ограниченный – до 1000 ч, длительный – до 10 тыс. ч и весьма длительный – до 100 тыс. ч.

### 5.7.9. СПЛАВЫ ПРЕЦИЗИОННЫЕ

Прецизионные сплавы характеризуются высокой чистотой компонентов, их точным соотношением. Специальная (прецизионная) технология их получения обеспечивает достижение заданного уровня физических свойств этих сплавов.

Маркировка прецизионных сплавов (ГОСТ 5632–72) немного отличается от маркировки легированных сталей и сплавов. Цифра слева означает среднее содержание (в процентах) проставленного за нею элемента. Например, 79НЗМ означает, что сплав содержит 79% никеля и 3% молибдена. Буква А в конце марки ставится для того, чтобы показать, что сплав изготовляется с суженными пределами химического состава (например, 42НХТЮА). Буквы, стоящие после обозначения марки через дефис, характеризуют специальный способ выплавки сплава: ВИ – вакуумно–индукционный; ЭЛ – электронно–лучевой; П – плазменный; Ш – электрошлаковый; ВД – вакуумно–дуговой. Например, 58Н–ВИ означает, что сплав, состоящий из 58% никеля, выплавлен вакуумно–индукционным способом. Если в обозначении марки через дефис проставлена буква Н, то это значит, что сплав применяется для изготовления нагревательных элементов (например, Х15Н60–Н).

ГОСТ 10994–74 регламентирует химический состав, основные физические свойства и области применения каждого сплава. Прецизионные сплавы в зависимости от основных свойств подразделяются на семь групп:

*первая группа* – сплавы с высокой магнитной проницаемостью (магнитомягкие) – 45Н, 50Н, 50НХС, 40Н, 50НП, 34НКМП, 35НКХСП, 40НКМП, 68НМП, 76НХД, 79НМ, 80НХС, 77НМД, 80Н2М, 68НМ, 79НЗМ, 47НК, 47НКС, 64Н, 40НKM, 52Н, 47НД, 16Х, 36НМ, 83НФ, 27КХ, 49К2Ф, 49КФ, 49К2ФА. Эти сплавы предназначены для производства сердечников междуламповых и малогабаритных силовых трансформаторов, дросселей, реле и деталей магнитных цепей, работающих при повышенных индукциях без подмагничивания или с большим подмагничиванием, сердечников импульсных трансформаторов и магнитных головок, аппаратуры связи, сердечников помехоподавляющих проводов зажигания автомобилей, сердечников магнитных усилителей коммутирующих дросселей, элементов вычислительных аппаратов счетно–решающих машин и других деталей электротехнической, радиотехнической и электронной промышленности, а также приборостроения;

*вторая группа* – сплавы магнитотвердые 52КЮФ, 52К11Ф, 52К12Ф, 52К13Ф, 35КХ4Ф, 35КХ6Ф, 35КХ8Ф, 25КФ14Н, 35КФЮН. Из этих сплавов изготавливают малогабаритные постоянные магниты и активную часть гистерезисных двигателей;

*третья группа* – сплавы с заданным температурным коэффициентом линейного расширения – 36Н, 32НКД, 29НК, 30НКД, 38НКД, 47НХ, 48НХ, 47НЗХ, 33НК, 47НД, 47НХР, 42Н, 42НА, 18ХТФ, 18ХМТФ, 52Н, 58Н–ВИ, 35НКТ, 32НК–ВИ, 39Н, 36НХ, 34НК. Эти сплавы применяются для изготовления деталей приборов очень высокой точности, работающих в

различных климатических условиях, вакуумных спаев элементов радиоэлектронной аппаратуры со стеклами и сапфиром, пружинных герметических контактов, штриховых мер длины, деталей приборов, работающих при повышенных нагрузках, деталей с полированной поверхностью и малой жесткостью формы, конструкций и трубопроводов, работающих при низких температурах (до  $-258^{\circ}\text{C}$ );

*четвертая группа* – сплавы с заданными свойствами упругости – 40КХНМ, 40КНХМВТЮ, 36НХТЮ, 36НХТЮ5М, 36НХТЮ8М, 68НХВКТЮ, 17НХГТ, 97НЛ, 42НХТЮ, 42НХТЮА, 44НХТЮ, 43НКТЮ. Эти сплавы используются для изготовления упругих чувствительных элементов и деталей приборов, работающих при температурах от  $-196$  до  $+500^{\circ}\text{C}$ , заводных пружин и волосковых спиралей часовых механизмов, витых цилиндрических пружин, кернов электроизмерительных приборов, деталей для хирургического инструмента, токоведущих и силовых чувствительных элементов;

*пятая группа* – сверхпроводящие сплавы – 65БТ и 35БТ. Они предназначены для производства соленоидов, кабелей и других устройств, сверхпроводящих композиционных материалов (проволоки марок СКМС и СКМДС), сверхпроводящих магнитных систем;

*шестая группа* – сплавы с заданным электрическим сопротивлением – Н50К10, Х13Ю4, 0Х23Ю5, 0Х23Ю5А, 0Х27Ю5А, Х15Н60–Н, Х15Н60–Н–ВИ, Х20Н80–Н, Х20Н80–Н–ВИ, Х15Н60, Х20Н80, Х20Н80–ВИ, Х15Н60–ВИ. (Маркировка сплавов с заданным электрическим сопротивлением производится так же, как и легированных сталей. В марках термометаллов в скобках указаны образующие их сплавы: в числителе – активный слой, в знаменателе – пассивный).

Из этих сплавов изготавливают термодатчики и термочувствительные элементы, проволоку и ленту для нагревательных элементов промышленных и лабораторных печей, электрических аппаратов теплового действия, бытовых приборов и лабораторных реостатов, ответственные детали вакуумных приборов, соединители для изделий электронной техники, микропроволоку для резисторов неотчетливого назначения. Рабочая температура нагревательных элементов сплавов  $1000$ – $1300^{\circ}\text{C}$ ;

*седьмая группа* – термометаллы –  $ТБ2013\left(\frac{75ГНД}{36Н}\right)$ ,  $ТБ1613\left(\frac{75ГНД}{45НХ}\right)$ ,  $ТБ1523\left(\frac{20НГ}{36Н}\right)$ ,  $ТБ1423\left(\frac{24НХ}{36Н}\right)$ ,  $ТБ1323\left(\frac{19НХ}{36Н}\right)$ ,  $ТБ1132\left(\frac{24НХ}{42Н}\right)$ ,  $ТБ1032\left(\frac{19НХ}{42Н}\right)$ ,  $ТБ0921\left(\frac{28НХТЮ}{45НТЮ}\right)$ ,  $ТБ0831\left(\frac{24НХ}{50Н}\right)$ ,  $ТБ0621(ТБ18)\left(\frac{28НХТЮ}{52НТЮ}\right)$ ,  $ТБ0731(ТБ54)\left(\frac{19НХ}{50Н}\right)$ ,  $ТБ1031(ТБ68)\left(\frac{20НГ}{46Н}\right)$ ,  $ТБ1224(ТБ-2-124)\left(\frac{27НМ}{36Н}\right)$ .

Термометаллы представляют собой материалы, состоящие из двух и более слоев металлов или сплавов с различными температурными коэффициентами линейного расширения, разность которых обеспечивает их упругую деформацию при изменении температуры. Они служат для изготовления термочувствительных элементов приборов – тепловых реле, реле защиты, предохранителей, термометров, компенсаторов, реле, регуляторов, импульсных датчиков и предохранителей.

## 5.8. ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ. МАРКИ, ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ

Ценные свойства цветных металлов обусловили их широкое применение в различных машинах современного производства. Медь, алюминий, цинк, магний, титан и другие металлы и их сплавы являются незаменимыми материалами для приборостроительной и электротехнической промышленности, самолетостроения и радиоэлектроники, ядерной и космической отраслей техники.

### 5.8.1. МЕДЬ И ЕЕ СПЛАВЫ

В настоящее время медь широко используется в электромашиностроении, при строительстве линий электропередач, для изготовления оборудования телеграфной и телефонной связи, радио- и телевизионной аппаратуры. Из меди изготавливают провода, кабели, шины и другие токопроводящие изделия. Большое количество меди идет на производство бронзы, латуни и других медных, а также алюминиевых и железных сплавов.

Медь обладает высокой электропроводностью и теплопроводностью, прочностью, вязкостью и коррозионной стойкостью. Физические свойства ее обусловлены структурой. Она имеет кубическую гранцентрированную пространственную решетку. Температура ее плавления  $1083^{\circ}\text{C}$ , кипения  $2360^{\circ}\text{C}$ . Средний предел прочности зависит от вида обработки и составляет от 220 до 420 МПа, относительное удлинение – 4 – 60% твердость – 35 – 130НВ, плотность –  $8,94 \text{ г/см}^3$ , при  $20^{\circ}\text{C}$  удельная теплоемкость равна  $0,092 \text{ кал/(ч}\cdot^{\circ}\text{C)}$ , теплопроводность –  $0,94 \text{ кал/(с}\cdot\text{см}^{\circ}\text{C)}$ , удельное электрическое сопротивление –  $0,0178 \text{ Ом/(мм}^2\cdot\text{м)}$ , линейная усадка – 2,1%. Прочность меди увеличивается в 1,5 раза после холодной деформации (наклепа), но при этом относительное удлинение ее снижается до 8–10%. В зависимости от степени чистоты и состояния поверхности цвет меди изменяется от светло-розового до красного.

ГОСТ 859–2001 предусматривает следующие марки меди:

катодная – МВ4к, М00к, М0ку, М0к, М1к; бескислородная – М00б, М0б, М1б; катодная переплавленная – М1у, М1; раскисленная – М1р, М1ф, М2р, М3р, М2, М3 (для раскисления используется фосфористая медь).

Обладая замечательными свойствами, медь в то же время как конструкционный материал не удовлетворяет требованиям машиностроения, поэтому ее легируют, т.е. вводят в ее состав такие металлы, как цинк, олово, алюминий, никель и др., за счет чего улучшаются ее механические и технологические свойства.

По химическому составу медные сплавы подразделяют на латуни, бронзы и медноникелевые, по технологическому назначению – на деформируемые, используемые для производства полуфабрикатов (проволоки, листа, полос, профиля), и литейные, применяемые для литья деталей.



## 5.8.2. ЛАТУНЬ

Латунь – сплав меди с цинком и другими компонентами. Латунни, содержащие кроме цинка другие легирующие элементы, называются сложными, или специальными, и именуются по вводимым, кроме цинка, легирующим компонентам. Например: железомарганцовая (ЛЖМц59–1–1), алюминированная кремнистомарганцовая (ЛАНКМц75–2–2,5–0,5–0,5) и др.

В обозначении марок латуней принята буквенно–цифровая система. Первая буква означает «латунь», остальные буквы соответствуют условным обозначениям химических элементов, входящих в латунь; первая цифра указывает на содержание меди, остальные цифры – на содержание других легирующих элементов. Содержание цинка в обозначении марки не указывается. Для того чтобы определить содержание цинка в латунни, необходимо от 100% вычесть процентное содержание меди и других химических элементов, входящих в данную латунь. Например: томпак Л90 – это латунь, содержащая 90% меди, остальное – цинк; латунь алюминиевая ЛА77–2 – 77% меди, 2% алюминия, остальное – цинк; латунь алюминированная кремнистомарганцовая ЛАНКМц75–2–2,5–0,5–0,5 – 75% меди, 2% алюминия, 2,5% никеля, 0,5% кремния, 0,5% марганца, остальное – цинк.

По сравнению с медью латунни обладают большей прочностью, коррозионной стойкостью и упругостью. Детали получают литьем, давлением и резанием. Латунни, обрабатываемые давлением, нормируются ГОСТ 15527–2004. Из них изготавливают полуфабрикаты (листы, ленты, полосы, трубы конденсаторов и теплообменников, проволоку, прутки, фольгу, поковки, штамповки), медали и значки, художественные изделия, музыкальные инструменты, сильфоны, гибкие шланги, застежки–молнии, подшипники скольжения и разную фурнитуру. В табл. 5.27 приводятся марки этих латуней, их основные свойства и области применения.

Таблица 5.27

Латунни, их основные свойства и применение

| Марка латуни                                    | Свойства и применение  |
|---|--|
| Л96, Л90  | Томпак, очень хорошо деформируются в холодном состоянии, пригодны дляковки, чеканки, эмалирования, не склонны к коррозионному растрескиванию                 |
| Л85, Л80  | Полутомпак, очень хорошо деформируются в холодном состоянии, пригодны дляковки, чеканки, эмалирования, не склонны к коррозионному растрескиванию             |
| Л70   | Очень хорошо деформируется в холодном состоянии, пригодна для пайки и нанесения на сталь (плакирования)  |
| Л68   | Очень хорошо деформируется в холодном состоянии холодной высадкой  |
| Л63   | Деформируется в холодном состоянии глубокой вытяжкой, волочением, прокаткой, чеканкой, изгибом, пригодна для пайки и сварки, хорошо полируется               |
| Л60   | Хорошо деформируется в горячем и холодном состоянии, пригодна дляковки и глубокой вытяжки  |
| ЛА77–2  | Алюминиевая, обладает средней прочностью и хорошей коррозионной стойкостью   |
| ЛАЖ60–1–1                                       | Алюминиевожелезная, горячедеформируемая, обладает высокой прочностью, износостойкостью, стойкостью к агрессивным средам, нечувствительна к масляной коррозии |
| ЛАН59–3–2                                       | Алюминиевоникелевая, предназначена для изготовления труб и прутков   |
| ЛЖМц59–1–1                                      | Железомарганцовая, используется для производства полос, труб, прутков и проволоки  |
| ЛН65–5  | Никелевая, применяется для изготовления листов, лент, труб и проволоки   |
| ЛМц58–2   | Марганцовая, высокой прочности, пригодна для пайки, коррозионностойкая   |
| ЛМцА57–3–1                                      | Марганцовоалюминиевая, обладает средней прочностью и высокой вязкостью, коррозионностойкая   |
| ЛО90–1  | Томпак оловянный, применяется для производства лент, полос и проволоки   |
| ЛО70–1  | Оловянная, обладает очень хорошей коррозионной и эрозийной стойкостью  |
| ЛО62–1  | Имеет среднюю прочность и хорошую коррозионную стойкость   |
| ЛО60–1  | Предназначена для изготовления проволоки   |
| ЛС63–3, ЛС74–3, ЛС64–2, ЛС60–1, ЛС59–1, ЛС59–1В | Свинцовые, используются для производства лент, полос, прутков, проволоки и листов  |
| ЛЖС58–1–1                                       | Железосвинцовая, предназначена для изготовления прутков  |
| ЛК80–3  | Кремнистая, пригодна для производства поволоков и штамповок  |
| ЛМш68–0,05                                      | Мышьяковая, ЛАМш77–2–0,05 – алюминированная мышьяковая, ЛОМш70–1–0,05 – оловянномышьяковая, предназначены для изготовления труб                              |
| ЛАНКМц75–2–2,5–0,5–0,5                          | Алюминиевоникелькремнистомарганцовая, используется для производства полос и труб   |
| ЛС63–2, ЛС60–2, ЛС59–3                          | Свинцовые, применяются для изготовления лент, полос, прутков, труб, проволоки, поволоков и листов  |

Литейные латунни поставляются в виде чушек (ГОСТ 1020–97) и служат сырьем для получения латуней определенных марок для фасонных отливок (ГОСТ 17711–93) – это различная арматура, работающая при температурах до 250°C и подвергающаяся гидравлическим испытаниям; детали, работающие в морской воде (при условии их протекторной защиты); подшипники и втулки неответственного назначения, гайки нажимных винтов, детали без притираемых поверхностей, сепараторы подшипников, шестерни, детали, подвергающиеся лужению или заливке баббитом; детали судовой и автомобилестроения и др. (табл. 5.28).



| Марки литейных латуней |                             |
|------------------------|-----------------------------|
| Марка                  | Наименование                |
| ЛЦ40С, ЛЦОСд           | Свинцовая                   |
| ЛЦ40Мц1,5              | Марганцовая                 |
| ЛЦ40Мц3Ж               | Марганцовожелезная          |
| ЛЦ40Мц3А               | Марганцовоалюминиевая       |
| ЛЦ38Мц2С2              | Марганцовосвинцовая         |
| ЛЦ30А3                 | Алюминиевая                 |
| ЛЦ25С2                 | Оловянносвинцовая           |
| ЛЦ23А6ЖЗМц2            | Алюминиевожелезомарганцовая |
| ЛЦ16К4                 | Кремнистая                  |

ГОСТ 17711–80 кроме химического состава нормирует механические свойства медноцинковых сплавов: предел прочности  $\sigma_b$  – от 146 до 705 МПа (от 15 до 72 кгс/мм<sup>2</sup>), относительное удлинение  $\delta$  – от 6 до 20%, твердость – от 587 до 1600 МПа (от 60 до 165 кгс/мм<sup>2</sup>).

Свойства и назначение латуни приведены в табл. 5.29, 5.30, 5.31.

Таблица 5.29

| Марка   | Свойства            |          |                             |                        | Назначение  |
|---|---------------------|----------|-----------------------------|------------------------|---|
|   | $\sigma_b$ *<br>МПа | **<br>НВ | $a_n$<br>кДж/м <sup>2</sup> | $\lambda$<br>Вт/(м·°С) |   |
| <i>Латуни двойные деформируемые (ГОСТ 15527–70)</i>             |                     |          |                             |                        |   |
| Л96   | 235                 | 59,0     | 22                          | 243                    | Радиаторные и капиллярные трубки  |
| Л90   | 275                 | 59,0     | 18                          | 180                    | Детали машин, приборов теплотехнической и химической аппаратуры, змеевики, сильфоны и др. |
| Л85   | 295                 | 60,8     | –                           | 151                    |   |
| Л80   | 343                 | 64,0     | 16                          | 144                    | Гильзы химической аппаратуры  |
| Л70   | 343                 | 64,0     | 16                          | 124                    |   |
| Л68   | 343                 | 64,0     | 17                          | 116                    | Штампованные изделия  |
| Л63   | 441                 | 67,0     | –                           | 108                    | Крепеж, детали авто, конденсаторные трубы   |
| Л60   | 412                 | 68,6     | –                           | 104                    | Толстостенные патрубki, гайки, детали машин   |
| <i>Латуни многокомпонентные деформируемые (ГОСТ 15527 – 70)</i> |                     |          |                             |                        |   |
| ЛА77– 2   | 441                 | 54,0     | 20                          | 116                    | Конденсаторные трубы морских судов  |
| ЛАЖ60– 1– 1   | 441                 | 54,0     | –                           | 75                     | Детали морских судов  |
| ЛАН59– 3– 2   | 540                 | 117,8    | 4,1                         | 84                     | Детали химической аппаратуры, электро-  |
|   |                     |          |                             |                        | машин, морских судов  |
| ЛЖМц59– 1– 1  | 470                 | 93,5     | 12,0                        | 101                    | Вкладыши подшипников, детали самолетов, морских судов                                     |
| ЛН65– 5   | 441                 | 64,0     | –                           | 59                     | Манометрические и конденсаторные трубки   |
| ЛМц58– 2  | 441                 | 88,4     | 12,0                        | 71                     | Гайки, болты, арматура, детали машин  |
| ЛМцА57– 3– 1  | 490                 | 93,5     | 13,5                        | 67                     | Детали морских и речных судов   |
| ЛО90– 1   | 302                 | 60,0     | 7,5                         | 126                    | Конденсаторные трубы теплотехнической аппаратуры  |
| ЛО70– 1   | 373                 | 63,8     | 12                          | 117                    | То же   |
| ЛО62– 1   | 420                 | 83,5     | 8                           | 108                    | То же   |
| ЛО60– 1   | 441                 | 80,4     | 7,5                         | 108                    | Конденсаторные трубы теплотехнической аппаратуры  |
| ЛС63 – 3  | 392                 | 54,0     | –                           | 118                    | Детали часов, втулки  |
| ЛС74 – 3  | 392                 | 58,8     | –                           | 122                    | То же   |
| ЛС64 – 2  | 373                 | 58,8     | –                           | 118                    | Полиграфические матрицы   |
| ЛС60 – 1  | 392                 | 68,6     | –                           | 105                    | Гайки, болты, зубчатые колеса, втулки   |
| ЛС59 – 1  | 392                 | 78,4     | 5,0                         | 105                    | То же   |
| ЛС59 – IV   | 392                 | 78,4     | –                           | 105                    | То же   |
| ЛЖС58 – 1– 1  | 441                 | 83,5     | –                           | 108                    | Детали, изготавливаемые резанием  |
| ЛК80 – 3  | 393                 | 103,0    | 12– 16                      | 88                     | Коррозионно–стойкие детали машин  |
| ЛМш68 – 0,05  | 363                 | 58,8     | –                           | 114                    | Конденсаторные трубы  |
| ЛАМш77 – 2 – 0,05   | 344                 | 68,6     | –                           | 135                    | То же   |
| ЛОМ 70 – 1 – 0,05   | 373                 | 66,8     | –                           | 118                    | То же   |
| ЛАНКМц75 – 2 – 2,5 – 0,5 – 0,5                                  | 582                 | –        | –                           | 126                    | Пружины, манометрические трубы  |
| <i>Латуни литейные (ГОСТ 17711–80)</i>                          |                     |          |                             |                        |   |
| ЛЦ16К4  | 294                 | 98,0     | 12,0                        | 84                     | Детали арматуры   |
| ЛЦ23А6ЖЗМц2   | 686                 | 156,5    | 1,38– 2,76                  | 51                     | Массивные червячные винты, гайки нажимных винтов  |
| ЛЦ30А3  | 294                 | 78,5     | 8– 10                       | 114                    | Коррозионно стойкие детали  |
| ЛЦ40С   | 215                 | 68,8     | 2,6                         | 103                    | Литые детали арматуры, втулки, сепараторы, подшипники                                     |
| ЛЦ40Мц3Ж  | 441                 | 89,1     | 3,5                         | 101                    | Детали ответственного назначения, работающие при температуре до 300 °С                    |
| ЛЦ25С2  | 146                 | 58,8     | –                           | 114                    | Штуцера гидросистемы автомобилей  |

\* Деформируемые латуни в мягком состоянии. \*\* После деформации с обжатием 50% и старения при 350 °С.

Технологические свойства латуни деформируемой (ГОСТ 15527–70)

| Марка      | Температура, °С   |         | Обрабатываемость резанием *1, % | Марка                  | Температура, °С   |            | Обрабатываемость резанием *1, % |
|------------|-------------------|---------|---------------------------------|------------------------|-------------------|------------|---------------------------------|
|            | горячей обработки | отжига  |                                 |                        | горячей обработки | отжига     |                                 |
| Л96        | 700–850           | 450–600 | 20                              | ЛО60–1                 | 700–760           | 550–650    | 40                              |
| Л90        | 700–850           | 450–600 | 20                              | ЛС63–1                 | 700–780           | 600–650    | 100                             |
| Л85        | 700–850           | 500–650 | 30                              | ЛС74–3                 | 700–780           | 600–650    | 80                              |
| Л80        | 700–850           | 500–650 | 30                              | ЛС64–2                 | 700–780           | 620–670    | 90                              |
| Л70        | 700–850           | 500–650 | 30                              | ЛС60–1                 | 700–780           | 600–650    | 75                              |
| Л68        | 700–850           | 500–650 | 30                              | ЛС59–1                 | 780–820           | 600–650    | 80                              |
| Л63        | 750–880           | 500–650 | 35                              | ЛС59–1В                | 640–780           | 600–650    | 80                              |
| Л60        | 750–880           | 500–650 | 35                              | ЛЖС58–1–1              | –                 | 600–650    | 70                              |
| ЛА77–2     | 720–770           | 600–650 | 30                              | ЛМ80–3                 | 30                | 750–850    | 500–600                         |
| ЛАЖ60–1–1  | 600–800           | 600–650 | 25                              | ЛМш68–0,05             | 30                | 700–850    | 500–650                         |
| ЛАН59–3–3  | 700–750           | 600–650 | 15                              | ЛАМш77–2–0,05          | 30                | 600–700    | –                               |
| ЛЖМд59–1–1 | 650–750           | 600–650 | 25                              | ЛМш58–2                | 650–750           | 600–650    | 22                              |
| ЛН65–5     | 750–870           | 600–650 | 30                              | ЛО90–1                 | 700–800           | 550–650    | 30                              |
| ЛО70–1     | 650–750           | 550–650 | 40                              | ЛОМш70–1–0,05          | 30                | 700–850    | 550–650                         |
| ЛО62–1     | 700–780           | 550–650 | 40                              | ЛАНКМш75–2–2,5–0,5–0,5 | 20                | 800–850 *2 | 550–650                         |

\*1 По сравнению с обрабатываемостью латуни ЛС63–3.

\*2 Термическая обработка: температура закалки 780 °С; старение при 500 °С; закалка, деформация 10% и старение при 450 °С.

Таблица 5.31

Технологические свойства латуни литейной (ГОСТ 17711–80)

| Марка       | Литейная усадка, % | Обрабатываемость резанием *, % | Коэффициент трения в паре со сталью ** |
|-------------|--------------------|--------------------------------|--|
| ЛЦ16К4      | 1,7                | 30                             | 0,19                                   |
| ДЦ23А6ЖЗМц2 | 1,8                | 25                             | –                                      |
| ЛЦ30А3      | 1,25               | 30                             | –                                      |
| ЛЦ40С       | 2,2                | 80                             | 0,17                                   |
| ЛЦ38Мц2С2   | 2,0                | 60                             | –                                      |
| ЛЦ40Мц3Ж    | 1,6                | 25                             | –                                      |
| ЛЦ25С2      | 1,8                | 60                             | –                                      |

\* Данные в % по сравнению с обрабатываемостью латуни ЛС63–3.

\*\* Без смазки.

### 5.8.3. БРОНЗА

Бронза – сплав на основе меди, в качестве добавок используются олово, алюминий, бериллий, кремний, свинец, хром и другие элементы, кроме цинка. По сравнению с латуной бронзы обладают более высокой прочностью, коррозионной стойкостью и антифрикционными свойствами. Они весьма стойки на воздухе, морской воде, в растворах большинства органических кислот, углекислых растворах. Большинство (за исключением алюминиевых) хорошо поддаются сварке и пайке твердыми и мягкими припоями.

Как и латуни, бронзы подразделяются на литейные и деформируемые. В обозначении марок бронз принята та же система, что и у латуней, только в начале проставляются буквы Бр, означающие – «бронза».

**Бронза безоловянная литейная** в чушках применяются в качестве исходного материала для получения бронз по ГОСТ 493–79, которым предусмотрены марки безоловянных бронз, а также изделия, изготавливаемые из этих бронз. Следует учитывать, что эти бронзы неудовлетворительно обрабатываются резанием. Стандарт устанавливает химический состав и механические свойства безоловянных бронз: предел прочности  $\sigma_B$  – от 58,7 до 607 МПа (от 6 до 62 кгс/мм<sup>2</sup>), относительное удлинение  $\delta$  – от 2 до 20%, твердость – от 15 до 1666 МПа (от 25 до 170 кгс/мм<sup>2</sup>). Химический состав безоловянных бронз, обрабатываемых давлением, нормируется ГОСТ 18175–78.

**Бронза оловянная литейная** регламентированы ГОСТ 613–79. ГОСТ 5017–2006 определяет химический состав оловянных бронз, обрабатываемых давлением, их свойства, предусматривает марки этих бронз и изготавливаемые из них изделия.

Основные марки безоловянных бронз и оловянных литейных бронз и области их применения приведены в табл. 5.26.

Свойства и назначение медно–никелевых сплавов приведены в табл. 5.33 и 5.34.

Таблица 5.32

Основные марки бронз и области их применения

| Марка                               | Область применения  |
|-------------------------------------|---|
| <i>Бронзы литейные безоловянные</i> |   |
| БрА9Мц2Л,<br>БрА10Мц2Л              | Антифрикционные детали и арматура, работающая в пресной воде, в жидком топливе и паре при температурах до 250°С;              |
| БрА9Ж3Л,<br>БрА10Ж3Мц2              | Антифрикционные детали и арматура   |
| БрА10Ж4Н4Л                          | Детали для машин, используемых в химической и пищевой промышленности, а также детали, работающие при повышенных температурах; |
| БрА11Ж6Н6                           | Арматура и антифрикционные детали   |
| БрА9Ж4Н4Мц1                         | Арматура, работающая в морской воде;  |

|  |  |
|--|--|
| БрС30,<br>БрСу3Н3Ц3С20Ф,<br>А7Мц15Ж3Н2Ц2                           | Антифрикционные детали   |
| <i>Бронзы литейные оловянные (ГОСТ 613–79)</i>                     |  |
| БрО3Ц12С5  | Арматура общего назначения   |
| БрО3Ц7С5Н1   | Детали, работающие в масле, паре и в пресной воде  |
| БрО4Ц7С5   | Арматура и антифрикционные детали  |
| БрО4Ц4С17  | Антифрикционные детали   |
| БрО5Ц5С5   | Арматура, антифрикционные детали, вкладыши подшипников   |
| БрО5С25  | Биметаллические подшипники скольжения  |
| БрО6Ц6С3   | Арматура, антифрикционные детали, вкладыши подшипников   |
| БрО8Ц4   | Арматура, фасонные части трубопроводов, насосы, работающие в морской воде  |
| БрО10Ф1  | Узлы трения, высоконагруженные детали шнековых приводов, нажимные и шпиндельные гайки, венцы червячных шестерен  |
| БрО10Ц2  | Арматура, антифрикционные детали, вкладыши подшипников, детали трения, облицовка гребных валов   |
| БрО10С10   | подшипники скольжения, работающие в условиях высоких удельных давлений   |
| <i>Бронзы оловянные, обрабатываемые давлением (ГОСТ 5017–2006)</i> |  |
| БрОФ8–0,3  | Проволока для сеток, используемых в целлюлозно–бумажной промышленности   |
| БрОФ7–0,2  | Прутки для различных отраслей промышленности   |
| БрОФ6,5–0,4  | Проволока для сеток, применяемых в целлюлозно–бумажной промышленности, пружины, ленты, полосы и детали для машиностроения  |
| БрОФ6,5–0,15   | Ленты, полосы, прутки, подшипники скольжения, трубы для биметаллических сталелитейных втулок   |
| БрОФ4–0,25   | Трубки для аппаратов и приборов  |
| БрОФ2–0,25   | Винты, ленты для гибких шлангов, токопроводящие детали; кроме того, эта бронза используется в качестве присадочного материала для сварки   |
| БрОЦ4–3  | Ленты, полосы, прутки и проволока для пружин   |
| БрОЦС4–2,5,<br>БрОЦС4–4–4  | Ленты и полосы для прокладок во втулках и подшипниках скольжения   |
| БрОФ8–0,3,<br>БрОФ7–0,2<br>Бр6,5–0,4<br>БрОФ6,5–0,15               | Бронзы обладают высокой коррозионной стойкостью, кроме того, имеют хорошую износостойкость, их пружинящие свойства делают их пригодными для пайки и сварки   |
| БрОФ4–0,25 БрОФ2–0,25  | Хорошо обрабатываются резанием, поддаются пайке и сварке   |
| БрОЦ4–3 БрОЦС4–4–2,5   | Бронзы обладают антифрикционными свойствами, обрабатываются резанием, пригодны для пайки   |
| <i>Бронзы алюминиевые</i>  |  |
| БрА5   | Деформируется в холодном и горячем состояниях, коррозионностойкая, жаропрочная, стойкая к истиранию предназначена для изготовления монет, деталей машин, работающих в морской воде и в химических средах   |
| БрА7   | Деформируется в холодном состоянии, жаропрочная, стойкая к истиранию, коррозионностойкая к серной и уксусной кислотам; применяется для изготовления деталей химического машиностроения и скользящих контактов  |
| БрАЖМц10–3–1,5,<br>БрАЖН10–4–4,<br>БрАЖНМц9–4–4–1                  | Деформируются в горячем состоянии, обладают высокой прочностью при повышенных температурах, хорошей эрозийной, кавитационной и коррозионной стойкостью; из этих бронз производят трубные доски конденсаторов и детали химической аппаратуры  |
| БрАМц9–2   | Характеризуется высоким сопротивлением при знакопеременной нагрузке; рекомендуется для изготовления износостойких деталей, винтов, валов, деталей гидравлических установок и трубных досок конденсаторов   |
| БрАМц10–2  | Имеет высокое сопротивление при знакопеременной нагрузке; пригодна для выполнения заготовок и фасонного литья в судостроении   |
| БрАЖ9–4  | Обладает высокими механическими и антифрикционными свойствами, коррозионностойкая; рекомендуется для производства шестерен, втулок и седел клапанов для авиапромышленности, отливки массивных деталей для машиностроения   |
| <i>Бронзы бериллиевые</i>  |  |
| БрБ2, БрБНТ1,7,<br>БрБНТ1,9,<br>БрБНТ1,9Мг                         | Обладают высокой прочностью и износостойкостью, хорошими пружинящими и антифрикционными свойствами, средней электропроводностью и теплопроводностью, деформируются в закаленном состоянии. Из этих бронз изготавливают пружины и пружинящие детали ответственного назначения, износостойкие детали всех видов, неискрящий инструмент |
| <i>Бронзы кремниевые</i>   |  |
| БрКМц3–1   | Коррозионностойкая, жаропрочная, имеет высокое сопротивление сжатию, пригодна для сварки; применяется для изготовления деталей для химических аппаратов, пружин и пружинящих деталей, сварных конструкций и деталей для судостроения   |
| БрКШ–3   | Обладает высокими механическими, технологическими и антифрикционными свойствами, коррозионностойкая; предназначена для производства ответственных деталей в моторостроении, а также направляющих втулок  |
| <i>Бронза марганцевая</i>  |  |
| БрМцб  | Имеет высокие механические свойства, хорошо деформируется в горячем и холодном состояниях, коррозионностойкая, жаропрочная. Из этой бронзы изготавливают детали, работающие при повышенных температурах  |

| <i>Бронзы кадмиевая и магниевая</i> |   |
|-------------------------------------|---|
| БрКд1 и БрМг0,3                     | Отличаются высокой электропроводностью и жаропрочностью. Их используют при производстве коллекторов электродвигателей и деталей машин контактной сварки |
| <i>Бронза серебряная</i>            |   |
| БрСр0,1                             | Предназначена для изготовления коммутаторов, коллекторных колец и обмотки роторов турбогенераторов  |
| <i>Бронза хромовая</i>              |   |
| CuCrI                               | Предназначена для производства сварочных электродов, электродеталей и оборудования сварочных машин  |
| <i>Бронза теллуровая</i>            |   |
| CuFeP                               | Выполняют детали, обрабатываемые на автоматах, элементы телетехнических, радиотехнических, электротехнических и электронных устройств                   |

Таблица 5.33

Свойства и назначение конструкционных медно–никелевых сплавов (ГОСТ 492–2006)

| Сплав      | Марка        | E* <sup>1</sup> | $\sigma_b$ * <sup>1</sup> | $\delta$ * <sup>1</sup> , % | Назначение   |
|------------|--------------|-----------------|---------------------------|-----------------------------|--|
|            |              | Мпа             |                           |                             |  |
| Мельхиор   | МНЖМц 30–1–1 | 14200           | 292–588                   | 3–5                         | Для конденсаторных труб и труб термостатов   |
| То же      | МН19         | 13750           | 490–586                   | 2,5–5                       | Детали машин, медицинский инструмент, сетки, детали точной механики, химической аппаратуры |
| Нейзильбер | МНЦ 15–20    | 13750           | 588–707                   | 2–3                         | Детали приборов, электромашин, радиоаппаратуры, медицинский инструмент, арматура, посуда   |
| Куниаль А  | МНА 13–3     | –               | 884–935                   | 2–4                         | Детали машин повышенной прочности  |
| Куниаль Б  | МНА 6–1,5    | –               | 638–735                   | 4–6                         | Пружины и другие изделия электротехнической промышленности                                 |

\*<sup>1</sup> Образцы в твердом состоянии.

Таблица 5.34

Свойства и назначение электротехнических медно–никелевых сплавов (ГОСТ 492–73)

| Сплав      | Марка               | $\rho$ , Ом/мм <sup>2</sup> | $\alpha \cdot 10^6$ , 1/°C | ТКС* <sup>1</sup> | Назначение   |
|------------|---------------------|-----------------------------|----------------------------|-------------------|--|
| ТБ         | МН16                | 0,223                       | 15,3                       | 0,0027            | Компенсационные провода термопар платина – золото                                    |
| Копель     | МНМц 43–05          | 0,49                        | 14,0                       | 0,00014           | Термопары, компенсационные провода, точные резисторы                                 |
| Константан | МНМц 40–45          | 0,48                        | 14,4                       | 0,00002           | Реостаты, термопары, нагревательные приборы с температурой до 500 °C, тензорезисторы |
| Манганин   | МНМц 3–12           | 0,435                       | 16,0                       | 0,00003           | Электротехнические измерительные приборы, резисторы                                  |
| То же      | МНМцАЖ 3–12–0,3–0,3 | –                           | –                          | –                 | Катушки точных резисторов, компенсационные провода                                   |

ТКС\*<sup>1</sup> – температурный коэффициент сопротивления.

#### 5.8.4. МАГНИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Подразделяют на *магнитомягкие* (коэрцитивная сила  $H_0 < 800$  А/м) и *магнитотвердые* ( $H_0 > 4$  кА/м). Магнитомягкие материалы применяют для производства магнитопроводов (сердечников дросселей, трансформаторов, электромагнитов, магнитных систем приборов и др.), а магнитотвердые материалы – для изготовления постоянных магнитов. Свойства магнитомягких материалов приведены в табл. 5.35.

Магнитотвердые материалы выпускают на основе сплавов Fe–Ni–Al (сплавы ЮНД) и Fe–Ni–Co–Al (сплавы ЮНДК) с легирующими элементами Si, Ti, Nb; на основе ферритов бария и кобальта и на основе редкоземельных элементов (табл. 5.36).

Свойства некоторых магнитомягких материалов

| Материал, марка                                    | Магнитная проницаемость |                | Коэффициентная сила $H_c$ , А/м | Индукция насыщения $B_m$ , Тл | Удельное электрическое сопротивление $\rho^{*1}$ |
|--|-------------------------|----------------|---------------------------------|-------------------------------|--|
|  | начальная               | максимальная   |                                 |                               |  |
| <i>Металлы и сплавы</i>                            |                         |                |                                 |                               |  |
| Технически чистое железо                           | 250–400                 | 3 500–4 500    | 50–100                          | 2,18                          | 0,1  |
| Электролитическое железо                           | 600                     | 15000          | 30                              | 2,18                          | 0,1  |
| Карбонильное железо                                | 2000–3000               | 20 000–21 500  | 6,4                             | 2,18                          | 0,1  |
| Электротехническая сталь                           | 200–6001                | 3000–8000      | 10–65                           | 1,95–2,02                     | 0,25–0,6   |
| Низконикелевый пермаллой                           | 500–4000                | 15000–60000    | 5–32                            | 1,0–1,6                       | 0,45–0,9   |
| Высоконикелевые пермаллои                          | 7000–100000             | 50 000–300 000 | 0,65–5                          | 0,65–1,05                     | 0,16–0,85  |
| Суперпермаллой (79 % Ni; 5% Mo; 15 % Fe; 0,5 % Mn) | 100 000                 | До 1 500 000   | 0,3                             | 0,8                           | 0,6  |
| <i>Ферриты</i>                                     |                         |                |                                 |                               |  |
| 20 000 НМ  | 15000                   | 25000          | 0,24                            | 0,11                          | 0,001  |
| 6000 НМ  | 4 800–8 000             | 10000          | 8                               | 0,11                          | 0,1  |
| 1 000 НМ   | 800–1 200               | 18000          | 28                              | 0,11                          | 0,5  |
| 1 000 НН   | 800–1 200               | 3000           | 24                              | 0,10                          | 10   |
| 600 НН   | 500–800                 | 1500           | 40                              | 0,12                          | 100  |
| 2 000 НМ1  | 1 700–2 500             | 3500           | 25                              | 0,12                          | 5  |
| 700 НМ1  | 550–850                 | 1 800          | 25                              | 0,05                          | 4  |
| 100 В4   | 80–120                  | 280            | 300                             | 0,15                          | $10^5$   |
| 20 В42   | 10–24                   | 45             | 1000                            | 0,10                          | $10^6$   |
| 300 НН   | 280–350                 | 600            | 80                              | 0,13                          | $10^6$   |
| 9 В4   | 9–13                    | 30             | 1500                            | 0,06                          | $10^7$   |
| 200 В4   | 180–220                 | 360            | 70                              | 0,11                          | $10^3$   |
| 50 В43   | 45–65                   | 200            | 100                             | 0,14                          | $10^4$   |

\*1 Для металлов и сплавов в мкОм·м, для ферритов – в Ом·м.

Таблица 5.36

Магнитные свойства магнитотвердых материалов

| Марка, состав                                       | Объемная плотность магнитной энергии $\mathcal{E}_{\text{маг}}$ , кДж/м <sup>3</sup> | Коэффициентная сила $H_c$ , кА/м | Индукция насыщения $B_m$ , Тл |
|---|--|----------------------------------|-------------------------------|
| <i>Ферриты</i>                                      |  |                                  |                               |
| 1БИ   | 3,2  | 128                              | 0,19                          |
| 1БИС  | 3,6  | 128                              | 0,21                          |
| 2,4БА   | 9,6  | 224                              | 0,33                          |
| 3,1БА   | 12,4   | 168                              | 0,38                          |
| 3БА2  | 10,4   | 240                              | 0,35                          |
| 1,5КА   | 5,6  | 128                              | 0,24                          |
| 2КА   | 7,2  | 128                              | 0,28                          |
| <i>Сплавы редкоземельных металлов</i>               |  |                                  |                               |
| SmCo <sub>5</sub>                                   | 75   | 560                              | 0,92                          |
| PrCo <sub>5</sub>                                   | 56   | 415                              | 0,94                          |
| Sm <sub>0,5</sub> Pr <sub>0,5</sub> Co <sub>5</sub> | 80   | 700                              | 0,93                          |

### 5.8.5. АЛЮМИНИЙ И ЕГО СПЛАВЫ

Алюминий по распространенности в природе занимает третье место после кислорода и кремния и первое место среди металлов. По использованию в технике он занимает второе место после железа.

Алюминий представляет собой серебристо-белый пластичный металл. В воздушной среде он быстро покрывается окисной пленкой, которая надежно защищает его от коррозии. Алюминий химически стоек против азотной и органических кислот, но разрушается щелочами, а также соляной и серной кислотами. Важнейшее свойство алюминия – небольшая плотность – 2,7 г/см<sup>3</sup>, т. е. он в три раза легче железа. Температура плавления его 660°C, теплоемкость – 0,222 кал/г, теплопроводность при 20°C – 0,52 кал/(см·с·°C), удельное электрическое сопротивление при 0°C – 0,286 Ом/(мм<sup>2</sup>·м). Механические свойства алюминия невысоки: сопротивление на разрыв – 50–90 МПа (5–9 кгс/мм<sup>2</sup>), относительное удлинение – 25–45%, твердость – 13 – 28 НВ. Высокая пластичность (максимальная пластичность достигается отжигом при температурах 350–410°C) этого металла позволяет прокатывать его в очень тонкие листы (фольга имеет толщину до 0,005 мм). Алюминий хорошо сваривается, однако трудно обрабатывается резанием, имеет большую линейную усадку – 1,8%. Для повышения прочности в алюминий вводят кремний, марганец, медь и другие компоненты. Кристаллическая решетка алюминия – куб с центрированными гранями,  $a=0,404 \text{ Н-м}$  (4,04 А).



Алюминий и его сплавы необходимы для самолето- и машиностроения, строительства зданий, линий электропередач, подвижного состава железных дорог. В металлургии алюминий служит для получения чистых и редких металлов, а также для раскисления стали. Из него изготавливают различные емкости и арматуру для химической промышленности. В пищевой промышленности применяется упаковочная фольга из алюминия и его сплавов (для обертки кондитерских и молочных изделий). Широкое признание получила алюминиевая посуда. Алюминий хорошо подвергается различным тонким покрытиям и окраске, поэтому его используют как декоративный материал.

Исходным материалом для получения алюминиевых сплавов является первичный алюминий (иногда с добавками вторичного – металлолома). Первичный алюминий нормируется ГОСТ 11069–2001. Этот стандарт распространяется на алюминий, изготавливаемый в форме чушек, слитков, катанки и ленты. В зависимости от химического состава первичный алюминий подразделяется на алюминий особой, высокой и технической чистоты.

Марки первичного алюминия: особой чистоты – А999, высокой чистоты – А995, А99, А97, А95, технической чистоты – А85, А8, А7, А7Е, А6, А5, А5Е, А0.

Алюминиевые сплавы подразделяются на литейные и деформируемые. Литейные алюминиевые сплавы в чушках (рафинированные и нерафинированные), предназначенные для изготовления фасонного литья и подшихтовки при получении сплавов, нормируются ГОСТ 1583–93. Стандарт предусматривает химический состав сплавов, технические требования к ним, правила приемки, методы испытаний, маркировки, упаковки, транспортирования и хранения и определения газовой пористости. Марки этих сплавов: АК7, АК7п, АК9, АК9с, АК12, АК4М4, АК5М2, АК5М2п, АК5М7, АК6М7, АК7М, АК7М2, АК7М2п, АК8М3, АК9М2, АК4М2Ц6, АК12ММгН, АК12М2МгН, АК21М2, 5Н2.5.

Сплавы, в обозначении марок которых имеется буква т «п», предназначены для изготовления пищевой посуды.

Механические свойства сплавов зависят от их химического состава и способов получения. Химический состав основных компонентов, входящих в сплав, можно определить по марке. Например: сплав АК7М2п – 7% кремния, 2% меди, остальное – алюминий, АК21М2,5Н2,5 – 21% кремния, 2,5% меди, 2,5% никеля, остальное – алюминий.

ГОСТ 2685–75 предусматривает пять групп алюминиевых литейных сплавов, применяемых для изготовления фасонных отливок:

на основе алюминий – кремний – АЛ2, АЛ4, АЛ4–1, АЛ9, АЛ9–1, АЛ34, АК9, АК7;

на основе алюминий – кремний – медь – АЛ3, АЛ5, АЛ5–1, АЛ6, АЛ32, АК5М2, АК5М7, АК7М2, АК4М4;

на основе алюминий – медь – АЛ7, АЛ19, АЛ33;

на основе алюминий – магний – АЛ8, АЛ13, АЛ22, АЛ23, АЛ23–1, АЛ27, АЛ27–1, АЛ28;

на основе алюминий – прочие компоненты – АЛ1, АЛ11, АЛ21, АЛ24, АЛ25, АЛ30, АК21М2,5Н2,5, АК4М2Ц6.

Сплав алюминия с кремнием – силумин (в чушках), используемый для производства литейных и обрабатываемых давлением алюминиевых сплавов, кроме алюминия (основа) и кремния (10 – 13%) в этот сплав входят: железо – 0,2 – 0,7%, марганец – 0,05 – 0,5%, кальций – 0,07 – 0,2%, титан – 0,05 – 0,2%, медь – 0,03% и цинк – 0,08%.

Силумин изготавливается четырех марок – СИЛ–00, СИЛ–0, СИЛ–1 и СИЛ–2. Увеличение номера в обозначении марки сплава указывает на рост примесей в нем.

На поверхность чушек силумина несмываемой и невыцветающей цветной краской наносится буква С, цвет которой соответствует определенной марке: синий – СИЛ–00, белый – СИЛ–0, красный – СИЛ–1, черный – СИЛ–2.

Алюминиевые деформируемые сплавы в чушках, предназначенные для обработки давлением и для подшихтовки при получении других алюминиевых сплавов, нормируются ГОСТ 1131–76.

Сплавы для обработки давлением состоят из алюминия (основа), легирующих элементов (медь – 5%, магний – 0,1–2,8%, марганец – 0,1–0,7%, кремний 0,8–2,2%, цинк – 2 – 6,5%) и небольшого количества примесей. Марки этих сплавов: ВД1, АВД1, АВД1–1, АКМ, В95–1, В95–2, АКМЦ.

В состав сплавов для подшихтовки входят: алюминий (основа), легирующие элементы (медь – 3–7%, магний – 1–2,6%; для некоторых сплавов марганец – 1 – 1,2%, никель–1,5%, железо – 1,3%, кремний – 1,2, хром – 0,35, цирконий – 0,2%) и небольшое количество примесей. Марки этих сплавов: ВДч, АК4ч, АК6ч. На чушки наносят полосы различного цвета, соответствующего определенной марке сплава по стандарту.

Алюминий и алюминиевые деформируемые сплавы, предназначенные для изготовления полуфабрикатов (листов, лент, полос, плит, профилей, панелей, прутков, труб, проволоки, штамповок и поковок) методом горячей и холодной деформации, а также слитков и слябов, нормируются ГОСТ 4784–97. В зависимости от химического состава стандартом предусмотрены следующие марки этих металлов:

АДоч, АДч – алюминий высокой чистоты;

АД000, АД00, АД00Е, АД0, АД0Е, АД1, АДС, АД – алюминий технической чистоты;

ММ, АМц, АМцС, Д12, АМн, АМр2, АМр3С, АМр3, АМр4,5, АМр5, АМр6, АД31, АД33, АД35, АВ, Д1, В65, А16, Д18, АК4, АК4–1, АК6, АК8, В95, 1915, 1925С, 1925.

Алюминиевые антифрикционные сплавы, применяемые для изготовления монометаллических и биметаллических подшипников методом литья, а также монометаллических и биметаллических лент и полос путем прокатки с последующей штамповкой из них вкладышей, нормируются ГОСТ 14113–78. В зависимости от химического состава стандартом предусмотрены следующие марки этих сплавов с указанием назначения каждого сплава:

АО3–7, АО9–2 – отливки монометаллических вкладышей и втулок;

АО6–1, АО9–1, АО20–1 – биметаллические ленты и вкладыши; толщина антифрикционного слоя – 1 мм;

АН2.5 – отливки вкладышей, монометаллические и биметаллические ленты; толщина антифрикционного слоя – менее 0,5 мм;

АСМ, АМСТ – биметаллические ленты и вкладыши; толщина антифрикционного слоя – менее 0,5 мм.

Стандартом определены условия работы изделий, изготовленных из сплавов этих марок: нагрузка – от 19,5 до 39,2 МН/м<sup>2</sup> (200–400 кгс/см<sup>2</sup>), скорость скольжения – от 10 до 20 м/с, температура – от 100 до 120°С, твердость – от 200 до 320 НВ.

Физические, механические и технологические свойства алюминиевых сплавов, приведены в табл. 5.37, 5.38, 5.39.

Таблица 5.37

## Физические, механические и технологические свойства алюминиевых деформируемых сплавов (ГОСТ 4784–74)

| Марка | Механические свойства |              |            |       | Физические свойства          |                       |                            | Технологические свойства  |               |                                      | примечание |
|-------|-----------------------|--------------|------------|-------|------------------------------|-----------------------|----------------------------|---------------------------|---------------|--------------------------------------|------------|
|       | $\sigma_b$ , МПа      | $\delta$ , % | $\Psi$ , % | НВ    | $\gamma$ , г/см <sup>3</sup> | $\lambda$ , Вт/(м·°С) | $\alpha \cdot 10^6$ , 1/°С | обрабатываемость резанием | свариваемость | пластичность при обработке давлением |            |
| АМц   | 128                   | 23           | 70         | 29,5  | 2,73                         | 188                   | 24,0                       | Н                         | В             | ВВ                                   |            |
| АМг2  | 186                   | 23           | –          | 44,1  | 2,67                         | 143                   | 23,8                       | Н                         | В             | ВВ                                   |            |
| АМг3  | 186                   | 15           | –          | 49,0  | 2,67                         | 147                   | 23,8                       | У                         | В             | ВВ                                   |            |
| АМг5  | 265                   | 22           | –          | 63,3  | 2,65                         | 117                   | 24,3                       | Н                         | У             | У                                    |            |
| АМг6  | 295                   | 18           | –          | 78,6  | 2,63                         | 293                   | 24,0                       | Н                         | У             | Н                                    |            |
| АД31  | 235                   | 10           | 50         | 78,6  | 2,71                         | 188                   | 23,4                       | У                         | У             | У                                    | *3         |
| АД33  | 315                   | 10           | 25         | –     | 2,71                         | 143                   | 23,2                       | У                         | У             | У                                    |            |
| Д1 *1 | 372                   | 15           | 30         | 98,0  | 2,8                          | 117                   | 22,0                       | У                         | У             | У                                    | *1         |
| Д16*1 | 441                   | 17           | 30         | 103,0 | 2,78                         | 117                   | 22,7                       | У                         | У             | У                                    | *1         |
| АК4*2 | 421                   | 10           | 20–25      | 117,8 | 2,8                          | 180                   | 22,0                       | В                         | У             | Н                                    | *2         |
| АК6*2 | 411                   | 13           | 40         | 98,0  | 2,75                         | 176                   | 21,4                       | В                         | У             | У                                    | *2         |
| АК8*2 | 470                   | 10           | 25         | 132,2 | 2,8                          | 160                   | 25,5                       | В                         | У             | Н                                    | *2         |
| В95*2 | 451                   | 8            | 12         | 147,0 | 2,8                          | 117                   | 3,6                        | В                         | Н             | У                                    | *2         |

\*1 Для закаленного и естественно состаренного сплава.

\*2 Для закаленного и искусственно состаренного сплава.

\*3 Свойства после упрочняющей термической обработки.

Таблица 5.38

## Физические, механические и технологические свойства литейных алюминиевых сплавов (ГОСТ 2685–75)

| Марка | $\sigma_b$ , МПа | $\delta$ , % | НВ   | $\gamma$ , г/см <sup>3</sup> | $\lambda$ , Вт/(м·°С) | $\alpha \cdot 10^6$ , 1/°С | Рекомендуемые способы литья |             | Свариваемость, способы сварки |
|-------|------------------|--------------|------|------------------------------|-----------------------|----------------------------|-----------------------------|-------------|-------------------------------|
|       |                  |              |      |                              |                       |                            | температура, °С             | обозначение |                               |
| АЛ1   | 206              | 1,0          | 93,2 | 2,78                         | 168                   | 22,3                       | 690–770                     | 3           | Х, Г, А–Д                     |
| АЛ2   | 147              | 2,0          | 49,0 | 2,64                         | 176                   | 21,1                       | 690–760                     | 3, К, Д     | Х, Г, А–Д, А–В                |
| АЛ3   | 167              | 0,5          | 63,8 | 2,70                         | 151                   | 22,1                       | 720–750                     | 3, К, Д     | У, Г, А–Д                     |
| АЛ4   | 196              | 1,5          | 68,6 | 2,65                         | 159                   | 21,7                       | 700–760                     | К, Д, 3     | У, Г, А–Д                     |
| АЛ5   | 157              | 0,5          | 63,8 | 2,68                         | 151                   | 23,1                       | 700–750                     | 3, К, Д     | У, А–Д                        |
| АЛ6   | 147              | 1,0          | 44,1 | 2,70                         | 146                   | 22,9                       | 720–750                     | 3, К, Д     | –                             |
| АЛ7   | 206              | 6,0          | 58,8 | 2,80                         | 138                   | 23,0                       | 700–750                     | 3           | У, Г, А–Д                     |
| АЛ8   | 285              | 9,0          | 58,8 | 2,60                         | 84                    | 24,5                       | 680–720                     | 3, К, Д     | У, Г                          |
| АЛ9   | 206              | 2,0          | 58,8 | 2,66                         | 151                   | 23,0                       | 690–740                     | Любые       | Х, Г, А–Д                     |
| АЛ11  | 245              | 1,5          | 88,4 | 2,94                         | –                     | 24,0                       | 680–750                     | 3, К        | Х,                            |
| АЛ13  | 157              | 1,0          | 54,0 | 2,63                         | 105                   | 22,0                       | 680–730                     | 3, К, Д     | У,                            |
| АЛ34  | 295              | 3,0          | 88,4 | –                            | –                     | –                          | –                           | 3, К        | –                             |
| АЛ23  | 216              | 6,0          | 58,8 | –                            | –                     | –                          | –                           | 3, Д, К     | А–Д                           |
| АЛ27  | 343              | 15,0         | 13,5 | –                            | –                     | –                          | –                           | 3, Д, К     | А–Д                           |
| АЛ19  | 333              | 40           | 88,4 | –                            | –                     | –                          | –                           | 3           | П, А–Д                        |

Свариваемость: Х – хорошая; У – удовлетворительная; П – плохая.

Способы литья: 3 – в песчаную форму; К – в кокиль; Д – под давлением.

Способы сварки: Г – газовая; А–Д – аргонодуговая; А–В – атомно-водородная.

Таблица 5.39

## Примерное назначение алюминиевых антифрикционных сплавов (ГОСТ 14113–78) и условия работы подшипников

| Марка                                     | Назначение  | Условия работы подшипников |                             |                       |
|---|---|----------------------------|-----------------------------|-----------------------|
|   |   | нагрузка на подшипник, МПа | скорость вращения вала, м/с | Температура масла, °С |
| А03–7<br>К09–2 А09–1,<br>А60–1,<br>А020–1 | Для отливки монометаллических вкладышей и втулок<br>Для получения биметаллической ленты со сталью и дуралюмином методом прокатки с последующей штамповкой вкладышей с толщиной антифрикционного слоя менее 0,5 мм | 2000                       | 15                          | 100                   |
|   |   | 2500                       | 15                          | 100                   |
|   |   | 3000                       | 20                          | 120                   |
|   |   | 3200                       | 20                          | 120                   |
| АН–2,5                                    | Для отливки вкладышей и получения прокатной моно и биметаллической ленты для штамповки вкладышей с толщиной антифрикционного слоя менее 0,5 мм  | 2000                       | 15                          | 100                   |
| АСМ,<br>АМСТ                              | Для получения биметаллической ленты со сталью методом прокатки с последующей штамповкой вкладышей с толщиной антифрикционного слоя менее 0,5 мм   | 2000                       | 10                          | 100                   |
|   |   | 4000                       | 15                          | 120                   |

### 5.8.6. ЦИНК И ЕГО СПЛАВЫ

Сплав цинка с медью – латунь. Цинк – металл светло-серо-голубоватого цвета, хрупкий при комнатной температуре и при 200°C, при нагревании до 100–150°C становится пластичным. В соответствии с ГОСТ 3640–94 цинк изготавливается и поставляется в виде чушек и блоков массой до 25 кг. Стандарт устанавливает марки цинка и области их применения:

ЦВ00 (содержание цинка –99,997%) – для научных целей, получения химических реактивов, изготовления изделий для электротехнической промышленности;

ЦВ0 – для полиграфической и автомобильной промышленности;

ЦВ1, ЦВ – для производства отливок под давлением, предназначенных для изготовления деталей особо ответственного назначения, авиационных и автомобильных приборов, для получения окиси цинка, цинкового порошка и чистых реактивов;

ЦОА, ЦО – для изготовления цинковых листов, цинковых сплавов, обрабатываемых давлением, ответственных отливок, получаемых под давлением, порошков, белил, лигатуры, для горячего и гальванического цинкования;

Ц 1С, Ц1, Ц2С, Ц2, Ц3С, Ц3 – для различных целей.

В промышленности широко применяются цинковые сплавы: латуни, цинковые бронзы, сплавы для покрытия стальных изделий, изготовления гальванических элементов, типографские и др.

Цинковые сплавы в чушках для литья под давлением нормируются ГОСТ 19424–97. Эти сплавы используются в автомобиле- и приборостроении и других отраслях промышленности. Стандартом установлены марки сплавов, их химический состав, определены изготавливаемые из них изделия:

ЦАМ4–10 – особо ответственные детали;

ЦАМ4–1 – ответственные детали;

ЦАМ4–1в – неответственные детали;

ЦА4о – ответственные детали с устойчивыми размерами;

ЦА4 – неответственные детали с устойчивыми размерами.

Цинковые антифрикционные сплавы, предназначенные для производства монометаллических и биметаллических изделий, а также полуфабрикатов методами литья и обработки давлением, нормируются ГОСТ 21437–75. Механические свойства сплавов зависят от их химического состава: предел прочности ( $\sigma_b = 250\text{--}350$  МПа ( $25\text{--}35$  кгс/мм<sup>2</sup>)), относительное удлинение  $\delta = 0,4\text{--}10\%$ , твердость –85–100 НВ. Стандарт устанавливает марки этих сплавов, области их применения и условия работы (табл. 5.40).

ЦАМ9–1,5Л – отливка монометаллических вкладышей, втулок и ползунов; допустимые нагрузка – 10 МПа (100 кгс/см<sup>2</sup>), скорость скольжения – 8 м/с, температура 80°C; если биметаллические детали получают методом литья при наличии металлического каркаса, то нагрузка, скорость скольжения и температура могут быть увеличены до 20 МПа (200 кгс/см<sup>2</sup>), 10 м/с и 100°C соответственно;

ЦАМ9–1,5 – получение биметаллической ленты (сплав цинка со сталью и дюралюминием) методом прокатки, лента предназначена для изготовления вкладышей путем штамповки; допустимые нагрузка – до МПа (250 кгс/см<sup>2</sup>), скорость скольжения – до 15 м/с, температура 100°C;

ЦАМ10–5Л – отливка подшипников и втулок; допустимая нагрузка–10 МПа (100 кгс/см<sup>2</sup>), скорость скольжения – 8 м/с, температура 80°C;

ЦАМ10–5 – прокатка полос для направляющих скольжения металлорежущих станков и других изделий; рабочие нагрузка – до 20 МПа (200 кгс/см<sup>2</sup>), скорость скольжения – до 8 м/с, температура 80°C.

Т а б л и ц а 5.40

Механические и технологические свойства цинковых сплавов (ГОСТ 21437–75)

| Марка       | Механические свойства |              |       | Технологические свойства |            |  |
|-------------|-----------------------|--------------|-------|--------------------------|------------|--|
|             |                       |              |       | коэффициент трения       |            | коррозионная стойкость                                     |
|             | $\sigma_b$ , МПа      | $\delta$ , % | НВ    | со смазкой               | без смазки |  |
| ЦАМ – 10– 5 | 322                   | 1,0          | 102,0 | 0,009                    | 0,35       | Нестойкий в смазочных маслах                               |
| ЦАМ – 9–1,5 | 292                   | 5,2          | 83,0  | 0,012                    | 0,18       | Нестойкий в парах воды, кислот, щелочей. Стойкий в смазках |

### 5.8.7. МАГНИЙ И ЕГО СПЛАВЫ

Магний – пластичный металл серебристо-белого цвета. Это один из наиболее легких цветных металлов, его плотность составляет 1,74 г/см<sup>3</sup>. Температура плавления магния 651°C. Он имеет компактную гексагональную кристаллическую решетку. Магний неустойчив против коррозии, особенно во влажной среде (поверхностная окисная пленка не защищает его), растворим во многих минеральных и органических кислотах, горюч (сгорая, дает ослепительное пламя), самовоспламеняем (однако магний в виде слитков неопасен), устойчив против щелочей, фтористых солей, плавиковой кислоты. Механические свойства его зависят от чистоты и способа изготовления образцов для испытания (литые, деформированные). Предел прочности магния ( $\sigma_b = 110\text{--}196$  МПа ( $11,5\text{--}20$  кгс/мм<sup>2</sup>)), относительное удлинение  $\delta = 8\text{--}11,5\%$ , твердость – 35–130 НВ.

Чистый магний как конструкционный материал не применяется. В промышленности используются магниевые сплавы. В металлургии с помощью магния осуществляют раскисление и обессеривание некоторых металлов и сплавов, модифицируют серый чугун с целью получения графита шаровидной формы, производят трудно восстанавливаемые металлы (например, титан). Смеси порошка магния с окислителями служат для изготовления осветительных и зажигательных ракет в реактивной технике и пиротехнике. Соединения магния применяют в производстве строительных материалов (цемента, силиката, фибролита и др.).

Первичный магний в чушках предназначен для переплавки в слитки, производства сплавов и других целей (ГОСТ 804–93). Стандарт предусматривает три марки первичного магния: Mg96, Mg95, Mg90. Массовая доля примесей в каждом из этих металлов соответственно составляет 0,04, 0,05 и 0,1%.

Свойства магния значительно улучшаются за счет легирования. Алюминий и цинк с массовой долей до 7% повышают его механические свойства, марганец улучшает его сопротивление коррозии и свариваемость, цирконий, введенный в сплав вместе с цинком, измельчает зерно, повышает механические свойства и сопротивление коррозии, торий улучшает жаропрочность, бериллий уменьшает окисляемость при плавке, литье и термической обработке (табл. 5.41, 5.42).

ГОСТ 2581–78 нормирует магниевые сплавы, применяемые для производства фасонного литья и слитков, обрабатываемых давлением. В зависимости от химического состава стандарт предусматривает следующие марки этих сплавов: ММ2, ММ2ч, МАЗЦ, МА5Ц1, МА5Ц1ч, МА6Ц3, МА6Ц3ч, МА8Ц, МА8Цч, МА8Цон, МА10Ц1, МЦр1Н3, М85. Их основные компоненты: алюминий – 3–10%, цинк – 0,2–3%, марганец – 0,2–1,5%, а в сплаве марки МЦр1Н3 – цирконий – 0,4–1,1 % и неодим – 2,6–3,2 %.

ГОСТ 2856–79 установлены марки магниевых литейных сплавов, предназначенных для изготовления фасонных отливок: МЛ3, МЛ4, МЛ4пч, МЛ5, МЛ5пч, МЛ5он, МЛ6, МЛ8, МЛ9, МЛ10, МЛ11, МЛ12, МЛ15, МЛ19. Буквы «пч» означают повышенную чистоту, «он» – общее назначение. Основные компоненты: алюминий – 2,5–10,2%, марганец – 0,1–0,5%, цинк – 0,1–6,6%, цирконий – 0,4–1,1%, кадмий – 0,2–0,8%, индий – 0,2–0,8%, лантан – 0,6–1,2%, неодим – 1,6–2,8%, иттрий – 1,4–2,2%.

ГОСТ 14957–76 (в зависимости от химического состава) установлены марки магниевых деформируемых сплавов, предназначенных для изготовления полуфабрикатов (листов, плит, прутков, профилей, полос, труб, проволоки, штамповок и поковок) методом горячей деформации, а также слитков и слябов: МА1, МА2, МА2–1, МА2–1пч, МА5, МА8, МА8пч, МА11, МА14, МА15, МА17, МА19, МА20. Основные компоненты: алюминий – 3–9,2%, марганец – 0,2–2,5%, цинк – 0,2–7%, цирконий – 0,05–0,9%, неодим – 1,4–3,5%, никель – 0,1–0,22%, кадмий – 0,2–2%, лантан – 0,8–1,1%, церий – 0,12–1,5%.

Таблица 5.41

Свойства и назначение магниевых деформируемых сплавов (ГОСТ 14957–76)

| Марка | $\lambda$<br>Вт/(м·°С) | $\sigma_b$ | $\sigma_t$ | $\delta$ , % | НВ   | Характеристика сплава   |
|-------|------------------------|------------|------------|--------------|------|---|
|       |                        | МПа        |            |              |      |   |
| МА1   | 126                    | 206        | 116        | 8            | 44,0 | Коррозионноустойчив, удовлетворительно пластичен в горячем состоянии, хорошая свариваемость и обрабатываемость резанием |
| МА2   | 97                     | 254        | 157        | 8            | 54,0 | Высокая пластичность в горячем и удовлетворительная в холодном состоянии.<br>Отличная обрабатываемость резанием         |
| МА5   | 76–97                  | 294        | 216        | 8            | 73,5 | Повышенная прочность и пониженная пластичность.<br>Отличная обрабатываемость резанием                                   |
| МА8   | 134                    | 264        | 156–195    | 11           | 49,0 | Хорошая свариваемость   |

Таблица 5.42

Свойства и назначение магниевых литейных сплавов (ГОСТ 2856–79)

| Марка | $\lambda$<br>Вт/(м·°С) | $\sigma_b$ , МПа | $\delta$ , % | НВ        | Назначение   |
|-------|------------------------|------------------|--------------|-----------|--|
| МЛ3   | 105                    | 157              | 6            | 39,1      | Арматура, детали, требующие повышенной герметичности   |
| МЛ4   | 80                     | 216              | 2            | 58,6      | Корпуса приборов, детали самолетов, подвергаемые статическим нагрузкам   |
| МЛ5   | 78                     | 147–216          | 1–2          | 49,0–58,6 | Высоконагруженные детали самолетов, двигателей, агрегатов и приборов, корпуса пневмоинструментов радиоаппаратура |
| МЛ6   | 78                     | 147–205          | 1–3          | 49,0–63,6 | Среднегруженные детали, корпуса, радиоаппаратура   |

### 5.8.8. ТИТАН И ЕГО СПЛАВЫ

Титан – металл серебристо-белого цвета. Один из наиболее распространенных в природе элементов. Среди других элементов по распространенности в земной коре (0,61%) он занимает десятое место. Титан легкий (плотность его 4,5 г/см<sup>3</sup>), тугоплавкий (температура плавления 1665°С), весьма прочен и пластичен. На поверхности его образуется стойкая окисная пленка, за счет которой он хорошо сопротивляется коррозии в пресной и морской воде, а также в некоторых кислотах. Титан устойчив против кавитационной коррозии и под напряжением. При температурах до 882°С он имеет гексагональную плотно упакованную решетку, при более высоких температурах – объемно-центрированный куб. Механические свойства листового титана зависят от химического состава и способа термической обработки. Предел прочности его – 300–1200 МПа (30–120 кгс/мм<sup>2</sup>), относительное удлинение – 4–30%. Предел прочности титановых сплавов – 350–1000 МПа (35–100 кгс/мм<sup>2</sup>), относительное удлинение – 4–10%. (табл. 5.43).

Вредными примесями титана являются азот, углерод, кислород и водород. Они снижают его пластичность и свариваемость, повышают твердость и прочность, ухудшают сопротивление коррозии. При температурах свыше 500°С титан и его сплавы легко окисляются, поглощая водород, который вызывает охрупчивание (водородная хрупкость). При нагревании до температуры выше 800°С титан энергично поглощает кислород, азот и водород – эта способность его используется в металлургии для раскисления стали. Титан хорошо обрабатывается давлением и сваривается, но плохо поддается резанию. Он служит легирующим элементом для других цветных металлов и для стали.

Благодаря своим замечательным свойствам титан и его сплавы нашли широкое применение в самолето-, ракето- и судостроении. Из титана и его сплавов изготавливают полуфабрикаты: листы, трубы, прутки и проволоку. Двухокись титана применяется при производстве белил и эмалей.

Основными промышленными минералами для получения титана являются: ильменит, рутил, неровскит и сфен (титанит). Сначала вырабатывают титановую губку, затем путем переплавки в вакуумных печах из нее производят ковкий титан.

Губчатый титан, получаемый магниетермическим способом (ГОСТ 17746–96), служит исходным материалом для производства титановых сплавов и других целей. В зависимости от химического состава и механических свойств стандартом установлены следующие марки губчатого титана: ТГ–90, ТГ–100, ТГ–110, ТГ–120, ТГ–130, ТГ–150, ТГ–Тв. В обозначении марок буквы ТГ означают – титан губчатый, Тв – твердый; цифры означают твердость по Бринеллю, буква А в конце – качественный. В губчатый титан входят примеси: железо – до 0,2 %, кремний – до 0,04%, никель – до 0,05%, углерод – до 0,05%, хлор – до 0,12%, азот – до 0,04%, кислород – до 0,1% (титан ТГ–Тв имеет более широкий допуск по массовой доле примесей).

Для изготовления полуфабрикатов предназначены титан и титановые сплавы, обрабатываемые давлением (ГОСТ 19807–91). В зависимости от химического состава стандарт предусматривает следующие их марки: ВТ1–00, ВТ1–0, ОТ4–0, ОТ4–1, ОТ4, ВТ5, ВТ5–1, ВТ6, ВТ3–1, ВТ9, ВТ14, ВТ16, ВТ20, ВТ22, ПТ–7М, ПТ–ЭВ, ПТ–1М. Основные компоненты: алюминий – 0,2–0,7%, марганец – 0,2–2%, молибден – 0,5–5,5%, ванадий – 0,8–5,5%, цирконий – 0,8–3%, хром – 0,5–2,3%, олово – 2–3%, кремний – 0,15–0,40%, железо – 0,2–1,5%. Примесями являются: углерод – до 0,1%, железо – до 0,30%, кремний – до 0,15%, цирконий – до 0,30%, кислород – до 0,20%, азот – до 0,05%, водород – до 0,015%. Железо, кремний и цирконий в зависимости от марки сплава могут быть основными компонентами или примесями.

Т а б л и ц а 5.43

| Механические свойства титановых сплавов |                           |              |                                   |                               |                           |              |                                   |
|---|---------------------------|--------------|-----------------------------------|-------------------------------|---------------------------|--------------|-----------------------------------|
| Марка                                   | $\sigma_{\text{в}}$ , МПа | $\delta$ , % | $a_{\text{н}}$ кДж/м <sup>2</sup> | Марка                         | $\sigma_{\text{в}}$ , МПа | $\delta$ , % | $a_{\text{н}}$ кДж/м <sup>2</sup> |
| Литейные                                |                           |              |                                   | Деформируемые (ГОСТ 19807–91) |                           |              |                                   |
| ВТ1Л                                    | 343                       | 10           | 4                                 | ВТ1–0                         | 373                       | 20–25        | –                                 |
| ВТ5Л                                    | 684                       | 6            | 3                                 | ВТ3–1                         | 1130                      | 10–16        | 3–6                               |
| ВТ3–1Л                                  | 935                       | 4            | 2,5                               | ВТ4                           | 686                       | 10–20        | –                                 |
| ВТ6Л                                    | 836                       | 5            | 2,5                               | ВТ5                           | 935                       | 12–25        | 3–6                               |
| ВТ9Л                                    | 935                       | 4            | 2                                 | ВТ6С                          | 980                       | 8–13         | –                                 |
| ВТ14Л                                   | 884                       | 5            | 2,5                               | ВТ14                          | 1100                      | 4–8          | –                                 |
| ВТ21Л                                   | 980                       | 4            | 2                                 |                               |                           |              |                                   |

### 5.8.9. КАДМИЙ (ГОСТ 1467–93)

В зависимости от химического состава выпускают кадмий марок Кд0АС, Кд0С, Кд1С, Кд2С, Кд0А, Кд0, Кд1, Кд2. Количество примесей наименьшее в кадмии марки Кд0АС (0,02%) и наибольшее – в Кд2 (0,17%).

### 5.8.10. МАГНИЙ (ГОСТ 804–72)

В зависимости от химического состава выпускают магний марок Мг96, Мг95, Мг90 (соответственно 0,4%, 0,5% и 0,6% примесей). Поставляют в виде чушек массой (8,0±1,0) кг. Магниевые сплавы подразделяют на литейные и деформируемые (табл. 5.41, 5.42). Магний и его сплавы быстро корродируют в контакте с другими металлами.

### 5.8.11. НИКЕЛЬ (ГОСТ 849–97)

В зависимости от химического состава выпускают никель марок Н–0, Н–1у, Н–1, Н–2, Н–3, Н–4. Никель марки Н–0 содержит не более 0,01% примесей, марки Н–4 – 2,4% примесей. Никель марок Н–0, Н–1у, Н–1 поставляют в виде катодных листов или пластинок; никель марок Н–2 и Н–3 – в виде катодных листов или пластинок, слитков, гранул; никель марки Н–4 в виде слитков и гранул. Марки никеля и его сплавов для электронной техники приведены в ГОСТ 19241–80. Марки никеля, никелевых и медно–никелевых сплавов, обрабатываемых давлением, приведены в ГОСТ 492–73.

### 5.8.12. ПЛАТИНА И ЕЕ СПЛАВЫ (ГОСТ 13498–79)

#### Марки и назначение сплавов

Пл; ПлИ–5; ПлИ–10; ПлИ–15; ПлИ–17,5; ПлИ–20; ПлИ–25; ПДИ–30 – Контакты (скользящие, разрывные), медицинские принадлежности.

ПлПд–10; ПлПд–15; ПлПд–20 – Контакты, высокотемпературные припои, потенциометры.

ПлПдРд–3,5 – Катализаторные сетки.

ПлРд–7; ПлРд–7,5; ПлРд–10; ПлРд–20; ПлРд–30; ПлРд–40 – Термопары, лабораторная посуда, техническая аппаратура, стеклоплавильные сосуды, катализаторные сетки.

ПлМ–2,5; ПлМ–8,5 – Потенциометры.

ПлН–4,5; ПлРу–84 ПлРу–10 – Контакты (разрывные, скользящие).

### 5.8.13. СЕРЕБРО И ЕГО СПЛАВЫ (ГОСТ 6836–2002)

#### Марки и назначение сплавов

Ср 999,9; Ср 999; СрМ 970; СрМ 960; СрМ 950; СрМ 940; СрМ 900 – Контакты разрывные и скользящие, электротехнические проводники.

СрМ 925; СрМ 916; СрМ 875 – Контакты, электротехнические проводники, ювелирные изделия.

СрМ 800; СрМ 770; СрМ 750; СрМ 500 – Контакты скользящие, электротехнические проводники.

СрПл 4; СрПл 12; СрПл 20; СрПд 40; СрПдМ 30–20 – Контакты разрывные и скользящие.



## 5.8.14. ПРИПОИ

Припой – металл или сплав, предназначенный для соединения деталей пайкой. Температура плавления припоев должна быть ниже температуры плавления материалов паяемых деталей.

Припои разделяют на мягкие ( $t_{пл} \leq 400$  °С) и твердые ( $t_{пл} > 400$  °С). Основные материалы мягких припоев – сплавы олова и свинца. Их обозначение (например, ПОС 61) расшифровывается так: П – припой, ОС – оловянно–свинцовый, 61 – содержание олова в процентах. Основные характеристики мягких припоев и область их применения приведены в табл. 5.44, 5.45, 5.46.

Твердые припои выполняют на серебряной основе (например, ПСр 72, где 72 – содержание серебра, %) или на медно–латунной и медно–никелевой основах. Серебряные припои применяют для пайки черных и цветных металлов, кроме сплавов алюминия и магния, а припои на медной основе – для пайки углеродистых и легированных сталей, никеля и его сплавов.

*Свойства и назначение олова*

Марка – Характеристика, назначение.

ОВ4–000 – Особочистое, для полупроводниковой техники.

О1 п. ч – В пищевой промышленности, для лужения жести.

О1 –Для лужения жести, изготовления припоев.

О2 –Для изготовления баббитов, припоев, труб, фольги, лужения кухонной утвари.

Таблица 5.44

| Припой оловянно–свинцовые (ГОСТ 21930–76) |                           |  |                             |              |
|---|---------------------------|--|-----------------------------|--------------|
| Марка                                     | Температура плавления, °С | Удельное электрическое сопротивление, $\rho \cdot 10^6$ , Ом·м | Теплопроводность, Вт/(м·°С) | $\delta$ , % |
| <i>Бессурьмянистые</i>                    |                           |  |                             |              |
| ПОС 90                                    | 220                       | 0,120  | 55                          | 40           |
| ПОС 61                                    | 190                       | 0,139  | 50                          | 46           |
| ПОС 40                                    | 238                       | 0,159  | 42                          | 52           |
| ПОС 10                                    | 299                       | 0,200  | 35                          | 44           |
| ПОС 61М                                   | 192                       | 0,143  | 49                          | 40           |
| ПОСК 50–18                                | 145                       | 0,133  | 55                          | 40           |
| <i>Малосурьмянистые</i>                   |                           |  |                             |              |
| ПОССу 61–0,5                              | 189                       | 0,140  | 50                          | 42           |
| ПОССу 50–0,5                              | 216                       | 0,149  | 48                          | 55           |
| ПОССу 40–0,5                              | 235                       | 0,169  | 42                          | 50           |
| ПОССу 35–0,5                              | 245                       | 0,172  | 42                          | 47           |
| ПОССу 30–0,5                              | 255                       | 0,179  | 38                          | 45           |
| ПОССу 25–0,5                              | 266                       | 0,182  | 38                          | 45           |
| ПОССу 18–0,5                              | 277                       | 0,198  | 35                          | 45           |
| <i>Сурьмянистые</i>                       |                           |  |                             |              |
| ПОССу 95–5                                | 240                       | 0,145  | 46                          | 46           |
| ПОССу 40–2                                | 229                       | 0,172  | 42                          | 48           |
| ПОССу 35–2                                | 243                       | 0,179  | 38                          | 40           |
| ПОССу 30–2                                | 250                       | 0,182  | 34                          | 40           |
| ПОССу 25–2                                | 260                       | 0,185  | 38                          | 35           |
| ПОССу 18–2                                | 270                       | 0,206  | 34                          | 35           |
| ПОССу 15–2                                | 275                       | 0,208  | 34                          | 35           |
| ПОССу 10–2                                | 285                       | 0,208  | 34                          | 30           |
| ПОССу 8–3                                 | 290                       | 0,207  | 34                          | 43           |
| ПОССу 5–1                                 | 308                       | 0,200  | 35                          | 40           |
| ПОССу 4–6                                 | 270                       | 0,208  | 34                          | 15           |

Таблица 5.45

| Области применения оловянно–свинцовых припоев |   |
|---|---|
| Марка   | Применение  |
| ПОС 90  | Лужение и пайка швов пищевой посуды и медицинской аппаратуры  |
| ПОС 61  | Лужение и пайка электроаппаратуры, точных приборов с высокогерметичными швами, где не допускается перегрев                    |
| ПОС 40  | Лужение и пайка электрорадиоаппаратуры, деталей из оцинкованного железа с герметичными швами                                  |
| ПОС 10  | Лужение и пайка контактных поверхностей электрических аппаратов, приборов, реле   |
| ПОС 61М                                       | Лужение и пайка медной проволоки, печатных проводников в кабельной промышленности, электро- и радиоэлектронной промышленности |
| ПОСК 50–18                                    | Пайка деталей, чувствительных к перегреву   |
| ПОССу 61–0,5                                  | Лужение и пайка электроаппаратуры, обмоток электрических машин, оцинкованных радиодеталей при жестких требованиях к перегреву |
| ПОССу 50–0,5                                  | Лужение и пайка авиационных радиаторов, пайка пищевой посуды с последующим лужением оловом                                    |
| ПОССу 40–0,5                                  | Лужение и пайка жести, обмоток электрических машин, пайка радиаторных трубок, холодильных агрегатов, оцинкованных деталей     |
| ПОССу 35–0,5                                  | Лужение и пайка свинцовых кабельных оболочек, электротехнических изделий неотчетливого назначения                             |

|   |  |
|---|--|
| ПОССу 30–0,5  | Лужение и пайка листового цинка, радиаторов  |
| ПОССу 25–0,5  | Лужение и пайка трубок теплообменников, электрических ламп   |
| ПОССу 18–0,5  | Пайка трубопроводов, работающих при повышенных температурах  |
| ПОССу 95–5  | Лужение и пайка холодильных установок, тонколистовой упаковки. Припой широкого назначения                                  |
| ПОССу 40–2  | Лужение и пайка в холодильном и электроламповом производстве, абразивная пайка   |
| ПОССу 30–2,<br>ПОССу 18–2,<br>ПОССу 15–2,<br>ПОССу 10–2 | Пайка в автомобилестроении   |
| ПОССу 8–3   | Лужение и пайка в электроламповом производстве   |
| ПОССу 5–1   | Лужение и пайка деталей, работающих при повышенной температуре   |
| ПОССу 4–6   | Пайка белой жести, лужение и пайка деталей с закатанными и клепаными швами из латуни и меди, шпатлевка кузовов автомобилей |

Таблица 5.46

Свойства серебряных припоев (ГОСТ 19738–74)

| Марка   | Температура плавления, °С | Удельное электрическое сопротивление, мкОм·см | Плотность, г/см <sup>3</sup> | Марка    | Температура плавления, °С | Удельное электрическое сопротивление, мкОм·см | Плотность, г/см <sup>3</sup> |
|---------|---------------------------|---|------------------------------|----------|---------------------------|---|------------------------------|
| ПСр 72  | 779                       | 2,1   | 10                           | ПСр 15   | 640                       | 20,7  | 8,5                          |
| ПСр 50  | 779                       | 2,5   | 9,3                          | ПСр 40   | 590                       | 7,0   | 9,25                         |
| ПСр 70  | 715                       | 4,1   | 9,8                          | ПСр 37,5 | 725                       | 37,2  | 8,9                          |
| ПСр 65  | 695                       | 8,6   | 9,45                         | ПСр 62   | 650                       | 25,5  | 9,6                          |
| ПСр 45  | 665                       | 10  | 9,1                          | ПСр 23   | 304                       | 20,4  | 11,4                         |
| ПСр 25  | 740                       | 7,7   | 8,7                          | ПСр 2,5  | 295                       | 21,4  | 11                           |
| ПСр 12М | 793                       | 7,4   | 8,3                          | ПСр 2    | 235                       | 16,7  | 9,5                          |
| ПСр 10  | 822                       | 7,3   | 8,4                          | ПСр 1,5  | 273                       | 19,1  | 10,4                         |
| ПСр 71  | 645                       | 4,3   | 9,8                          |          |                           |   |                              |

## 5.9. АНТИФРИКЦИОННЫЕ (ПОДШИПНИКОВЫЕ) И ФРИКЦИОННЫЕ (ТОРМОЗНЫЕ) МАТЕРИАЛЫ

### 5.9.1. АНТИФРИКЦИОННЫЕ (ПОДШИПНИКОВЫЕ) МАТЕРИАЛЫ

Используются для изготовления деталей, работающих в условиях трения (скольжения): подшипников, втулок, направляющих, вкладышей. Условно эти материалы делятся на сплавы на основе олова, свинца, меди, железа, цинка и алюминия; спеченные сплавы – бронзографит, железографит; пластмассы – текстолит, фторопласт, древеснослоистые пластики и сложные композиции – металл–пластмасса и др. Такие материалы должны обладать хорошей прирабатываемостью, износостойкостью, низким коэффициентом трения при работе в паре с материалом изделия, малой склонностью к заеданию (схватыванию), способностью обеспечивать равномерную смазку трущихся поверхностей, прочной, но относительно вязкой и пластичной основой, удерживающей твердые опорные включения.

Наряду с рассмотренными выше алюминиевыми антифрикционными сплавами (ГОСТ 14113–78), предназначенными для изготовления монометаллических и биметаллических подшипников, и цинковыми антифрикционными материалами (ГОСТ 21437–95), применяемыми для производства биметаллических и монометаллических изделий, ниже показаны другие антифрикционные материалы.

Широко распространенным антифрикционным легкоплавким материалом являются **баббиты**. Особенность баббитов – они не оставляют надиров на поверхностях сопрягаемых деталей. Их основные компоненты – пластичные олово и свинец, в которые добавляют более твердые материалы – медь, сурьму и никель.

Кальциевые баббиты в чушках (ГОСТ 1209–90) применяются для заливки подшипников скольжения. Их основу составляет свинец, в который добавляют кальций – 0,3–1,15%, натрий – 0,2–0,9%, магний – 0,01 – 0,09%, олово – 1,5–2,1% и алюминий – до 0,2%. Масса чушек – от 24 до 28 кг. В зависимости от химического состава стандарт определяет следующие марки этих баббитов и области их применения:

БКА – заливка буксовых подшипников вагонов и тендеров на железных дорогах;

БК2 – заливка вкладышей коренных и шатунных подшипников дизелей и газовых двигателей;

БК2Ш – подшипниковка сплавов при заливке вкладышей коренных и шатунных подшипников дизелей и газовых двигателей.

Для заливки подшипников скольжения и других деталей служат оловянные и свинцовые баббиты (ГОСТ 1320–74). В зависимости от химического состава стандарт предусматривает следующие марки этих баббитов и примерное их назначение:

Б88 – заливка подшипников, работающих при больших скоростях и высоких динамических нагрузках, а также для нижней половины кривокопных подшипников малооборотных дизелей;

Б83, Б83С – заливка подшипников, работающих при больших скоростях и высоких динамических нагрузках (подшипники турбин, кривокопные, мотыльевые, рамовые малооборотных дизелей, опорные подшипники гребных валов);

БН – заливка подшипников, работающих при средних скоростях и нагрузках (подшипники дизелей, компрессоров, судовых водопроводов);

Б16 – заливка упорно–осевых подшипников электровозов, путевых машин, деталей паровозов и других тяжелых машин;

БС6 – заливка подшипников автотракторных двигателей.

Физико-механические свойства баббитов

| Марка | $\gamma$<br>г/см | НВ<br>(при 20 °С) | $\sigma_T$ | $\sigma_{сж}$ | Температура, °С        |           |         |
|-------|------------------|-------------------|------------|---------------|------------------------|-----------|---------|
|       |                  |                   |            |               | начала<br>расплавления | плавления | заливки |
| Б88   | 7,35             | 26,5–29,2         | –          | –             | –                      | 320       | 380–420 |
| Б83   | 7,38             | 26,5–29,2         | 78,5–83,5  | 108–117       | 240                    | 370       | 440–460 |
| Б83С  | 7,4              | 26,5–29,2         | –          | –             | 230                    | 400       | 440–460 |
| БН    | 9,55             | 26,5–28,2         | 69–73      | 125–128       | 240                    | 400       | 480–500 |
| Б16   | 9,29             | 29,2              | 84         | 144           | 240                    | 410       | 480–500 |
| БС6   | 10,05            | 14,7–16,6         | –          | –             | 247                    | 280       | –       |

Таблица 5.48

Область применения баббитов

| Марка | Нагрузка             | Давление<br>$p$ , МПа | Окружная<br>скорость<br>$v$ , м/с | Напряженность<br>работы $p-v$ ,<br>$\frac{кгс}{см^2 \cdot с}$ | Рабочая<br>температура,<br>°С | Область применения   |
|-------|----------------------|-----------------------|-----------------------------------|---|-------------------------------|--|
| Б88   | Спокойная<br>ударная | 20, 15                | 50                                | 750   | 75                            | Подшипники, работающие при больших скоростях и высоких динамических нагрузках<br>Подшипники быстроходных дизелей |
| Б83   | То же                | 15, 10                | 50                                | 750, 500  | 70                            | Подшипники, работающие при больших скоростях и средних нагрузках   |
| Б83С  | »                    | 15, 10                | 50                                | 750, 500  | 70                            | Подшипники турбин, дизелей, опорные подшипники гребных валов   |
| БН    | »                    | 10<br>7,5             | 30                                | 300, 200  | 70                            | Подшипники, работающие при средних скоростях и нагрузках.<br>Подшипники компрессоров и дизелей                   |
| Б16   | Спокойная            | 10                    | 30                                | 300   | 70                            | Подшипники оборудования тяжелого машиностроения  |
| БС6   | Ударная              | 15                    | –                                 | –   | 70                            | Подшипники автотракторных двигателей   |

Баббиты марок Б88, Б83 и Б83С имеют оловянную, а Б16, БН и БС6 – свинцовую основу. Основные компоненты: олово – 5,5–17%, свинец – 1–1,5%, сурьма – 5,5–17%, медь – 0,1–6,5%, кадмий – 0,1–1,2%, никель – 0,1–0,5% и мышьяк – 0,5–0,9%.

Механические и физические свойства баббитов зависят от марки сплава. Удельное давление составляет  $(200–745) \cdot 10^4$  Па ( $76–200$  кгс/см<sup>2</sup>), окружная скорость – 30–50 м/с, рабочая температура – от 70 до 75°С, плотность – 7,35 – 10,05 г/см<sup>3</sup>, твердость – 15–30 НВ, предел текучести при сжатии – 70–85 МПа ( $7–8,6$  кгс/мм<sup>2</sup>), предел прочности при сжатии – 110–145 МПа ( $11–14,7$  кгс/мм<sup>2</sup>), температура плавления – от 280 до 400°С, температура заливки – от 380 до 500°С (табл. 5.47 и 5.48).

### 5.9.1.1. Антифрикционные латуни и бронзы

Для изготовления монометаллических подшипников применяются антифрикционные латуни (ГОСТы 17711–93 и 15527–2000) следующих марок: ЛЦ40С, ЛС 40Сд – свинцовые, ЛЦ40Мц1,5 – марганцовая, ЛЦ38Мц2С2 – марганцовосвинцовая, ЛЦ25С2 – оловянносвинцовая, ЛЦ23А6Ж3Мц2 – алюминievoжелезомарганцовая, ЛЦ16К4 – кремнистая.

Оловянные бронзы (ГОСТ 614–97) марок БрО3Ц8С4Н1, БрО3Ц13С4, БрО4Ц7С5 и БрО5Ц6С5 предназначены для изготовления различных антифрикционных деталей.

Для изготовления антифрикционных монометаллических деталей и вкладышей, в том числе высоконагруженных подшипников скольжения, служат оловянные литейные бронзы (ГОСТ 613–79) БрО4Ц7С5, БрО4Ц4С17, БрО5Ц5С5, БрО5С2С5, БрО6Ц6С3, БрО10Ф1, БрО10Ц2 и БрО10С10.

### 5.9.1.2. Антифрикционные чугуны

В качестве антифрикционных используются чугуны (отливки) по ГОСТ 1585–85. Они предназначены для изготовления деталей, работающих в узлах трения со смазкой. Стандарт определяет марки антифрикционных чугунов, их химический состав, характеристики, назначение, форму, размер и распределение графита, дисперсность перлита, характер распределения фосфидной эвтектики, твердость и предельные режимы эксплуатации деталей из этих чугунов. Основой их является железо, постоянные компоненты: углерод – 2,2–6,0%, кремний – 0,5 – 4,0%, марганец – 0,2–12,5%. Допускаются примеси: фосфор – от 0,1 до 1%, сера – от 0,03 до 2% (табл. 5.49).

Буквы в обозначениях марок чугунов означают: АЧ – антифрикционный чугун, С – серый чугун с пластинчатым графитом, В – высокопрочный чугун с шаровидным графитом, К – ковкий чугун с хлопьевидным (компактным) графитом.

Твердость отливок из антифрикционных чугунов (от 100 до 290 НВ) зависит от их состояния и условий термической обработки. Предельные режимы работы деталей из этих чугунов в узлах трения: удельное давление –  $(50–3000) \cdot 10^4$  Па ( $5–300$  кгс/см<sup>2</sup>), окружная скорость – 0,3–10 м/с. Условия использования антифрикционных чугунов в узлах трения: тщательный монтаж (точное сопряжение трущихся поверхностей и отсутствие перекоса); непрерывная тщательная смазка, не допускающая искрений или значительного нагрева узла трения; повышение зазоров по сравнению с установленными для бронзы до 15–30%, при значительном нагреве узла трения – до 50%; приработка на холостом ходу и постепенное повышение рабочих нагрузок.

Марки антифрикционных чугунов, их характеристики и назначение

| Марка | Свойства и применение   |
|-------|---|
| АЧС-1 | Перлитный чугун, легированный хромом (0,2–0,4%) и медью (0,8–1,6%); предназначен для деталей, работающих в паре с закаленным или нормализованным валом  |
| АЧС-2 | Перлитный чугун, легированный хромом (10,2–0,4%), никелем (0,2–0,4%), титаном (0,03–0,1%) и медью (0,3–0,5%); назначение – такое же, как чугуна марки АЧС-1   |
| АЧС-3 | Перлитно-ферритный чугун, легированный титаном (до 0,3%) и медью (0,3–0,5%); детали из такого чугуна могут работать в паре с «сырым» и с термически обработанным валом  |
| АЧС-4 | Перлитный чугун, легированный сурьмой (0,04–0,40%); используется для изготовления деталей, работающих в паре с закаленным или нормализованным валом   |
| АЧС-5 | Аустенитный чугун, легированный марганцем (7,5–12,5%) и алюминием (0,4–0,8%); из этого чугуна изготавливают детали, работающие в особо нагруженных узлах трения в паре с закаленным или нормализованным валом |
| АЧС-6 | Перлитный пористый чугун, легированный свинцом (0,5–1,0%) и фосфором (0,5–1,0%); рекомендуется для производства деталей, работающих в узлах трения с температурой до 300°C в паре с «сырым» валом             |
| АЧВ-1 | Перлитный чугун с шаровидным графитом; детали из такого чугуна могут работать в узлах трения с повышенными окружными скоростями в паре с закаленным или нормализованным валом                                 |
| АЧВ-2 | Перлитно-ферритный чугун с шаровидным графитом; изготовленные из этого чугуна детали хорошо работают в условиях трения с повышенными окружными скоростями в паре с «сырым» валом                              |
| АЧК-1 | Перлитный чугун с хлопьевидным графитом, легированный медью (1,0–1,5%); предназначен для изготовления деталей, работающих в паре с термически обработанным валом  |
| АЧК-2 | Ферритно-перлитный и перлитно-ферритный чугун с хлопьевидным графитом; детали из этого чугуна работают в паре с «сырым» валом   |

### 5.9.1.3. Углеродные (углеграфитные) антифрикционные материалы

Углеродные (углеграфитные) антифрикционные материалы предназначены для изготовления деталей (подшипников скольжения, уплотнительных устройств, поршневых колец и др.), работающих в узлах трения без смазки при температурах от –200 до +2000°C и скоростях скольжения до 100 м/с, а также в агрессивных средах. Свойства их зависят от химического состава и способа получения: плотность – 1,4–3,2 г/см<sup>3</sup>, предел прочности при сжатии – 60–270 МПа (600–2700 кгс/см<sup>2</sup>), при изгибе – 22–120 МПа (220–1200 кгс/см<sup>2</sup>), модуль упругости при сжатии – 600–1700 МПа (6000–17000 кгс/см<sup>2</sup>), твердость по Шору – 42–75, допустимая рабочая температура в окислительной среде – от 180 до 450°C, в восстановительной и нейтральной средах – от 200 до 1500°C. При работе в вакууме и в среде осушенных газов свойства этих материалов ухудшаются. К углеродным антифрикционным материалам относятся:

– углеродные обожженные материалы марок АО–1500 и АО–600 (цифра означает усилие прессования, при котором получен материал, в кгс/см<sup>2</sup>); после пропитки сплавом СО<sub>5</sub>, содержащим 95% свинца и 5% олова, или баббитом Б83 этим материалам присваиваются марки: АО–1500–СО<sub>5</sub>, АО–600–СО<sub>5</sub>, АО–1500–Б83 и АО–600–Б83;

– углеродные графитизированные материалы марок АГ–1500, АГ–600 и ЭГО (после пропитки сплавом СО<sub>5</sub>, баббитом Б83 и бронзой БрСЗО – АГ1500–СО<sub>5</sub>, АГ600–СО<sub>5</sub>, АГ500–Б83, АГ600–Б83, АГ1500–БрСЗО, ЭГО–Б83);

– графитофторопластовые антифрикционные материалы марок 7В–2А, АФГМ и АФГ–80ВС, состоящие из композиций на основе фторопласта–4 и углеродистых наполнителей;

– графитопластовые антифрикционные материалы марок: АМС–1, АМС–3 и АМС–5 на оксидно-кремнийорганической связующей основе; эти материалы предназначены для изготовления деталей, работающих в узлах трения при 180–200°C, а кратковременно – при температурах до 320°C;

– антифрикционные графитизированные материалы марок НИГРАН и НИГГРАН–В; в них сочетаются свойства обожженных и графитизированных материалов, подвергнутых дополнительной пропитке полимерными связующими; детали из этих материалов могут работать в узлах сухого трения и в агрессивных средах при температурах до 300°C.

### 5.9.1.4. Антифрикционные твердые покрытия (твердые смазки)

К антифрикционным твердым покрытиям относятся материалы, обладающие малым коэффициентом трения, свойства которых не изменяются при высоких и низких температурах, при работе в вакууме, а также при воздействии агрессивных сред. Это – графит, дисульфид молибдена, нитрид бора, флотацианин меди, фторопласт–4 и др. В чистом виде они обладают невысокой износостойкостью и недостаточной прочностью, поэтому могут работать только в малонагруженных узлах трения при небольших скоростях, что обусловило ограниченное их применение.

Антифрикционные твердые покрытия выпускаются в виде порошков, пластичных смазок и высыхающих композиций. Антифрикционные порошки втирают в поверхность трения. Такой способ не обеспечивает длительной работы узла трения, поэтому процесс втирания приходится повторять через определенные промежутки времени. Более эффективным является ротационный метод нанесения порошка. В узел трения монтируется вспомогательный валик (или шестерня), который при постоянном контакте с трущейся поверхностью непрерывно наносит порошок на основной вал, зубчатую пару или направляющую.

Разработан также магнитодинамический метод внесения порошков в узлы трения при температурах до 900°C.

Марки твердых антифрикционных покрытий:

ВНИИ НП–209 – антифрикционное дисульфидмолибденовое покрытие на основе кремнийорганического связующего; применяется для узлов трения (скольжения) при возвратно-поступательном движении; рабочие температуры – от –70 до +850°C, в вакууме – до 900°C;

ВНИИ НП–212 – антифрикционное дисульфидмолибденовое покрытие на основе мочевиноформальдегидной смолы; предназначено для пар трения, работающих при больших удельных нагрузках и низких скоростях при температурах от –70 до +150°C в атмосферных условиях и в вакууме;

ВНИИ НП–213 – антифрикционное дисульфидмолибденовое покрытие на основе кремнийорганического связующего; используется в узлах трения (скольжения), резьбовых парах, а также для предохранения от спекания трущихся пар; рабочие температуры – от –70 до +350°C;

ВНИИ НП–229 – антифрикционное дисульфидмолибденовое покрытие на основе силиката натрия; предназначено для узлов трения (скольжения), работающих при температурах от –60 до +350°C;

ВНИИ НП–230 – антифрикционное дисульфидмолибденовое радиационностойкое покрытие на основе эпоксидной смолы; применяется в узлах трения (скольжения) с ограниченным ресурсом в условиях радиационного облучения при температурах от –60 до +250°C.

### 5.9.1.5. Антифрикционные полимерные и пластмассовые материалы

Для изготовления различных деталей, работающих в механизмах трения (скольжения) с небольшими нагрузками и скоростями, применяются антифрикционные полимерные и пластмассовые материалы. Эти материалы обладают небольшим коэффициентом трения, высокой износостойкостью, химической стойкостью, могут работать без смазки. Однако низкая (в сотни раз ниже, чем у металлов) теплопроводность, значительный (в десятки раз больше, чем у металлов) коэффициент термического расширения, небольшая твердость и высокая податливость ограничивают возможности их широкого использования. Более эффективно они применяются в комбинации с другими материалами, металлами и пластмассами.

Ниже показаны состав и условия применения некоторых полимерных и пластмассовых материалов.

Предельные режимы работы полимерных и пластмассовых материалов приведены в табл. 5.50.

**Текстолит** (ГОСТ 5–78) – слоистый пластмассовый материал, состоящий из хлопчатобумажного наполнителя и связующей термореактивной фенолформальдегидной (крезолоальдегидной, ксиленолоальдегидной) или другой (из смеси фенольного сырья) смолы. Текстолит служит хорошим заменителем дорогостоящих цветных металлов. Его используют при изготовлении подшипников скольжения и накладок для направляющих различных профилей. Как конструкционный материал он применяется в самолето- и приборостроении, в автомобильной и электротехнической промышленности. Текстолитовые подшипники могут работать со смазкой и без нее, их можно смачивать водой. Детали из текстолита противостоят многим активным средам: органическим растворителям, маслам, бензину, слабым кислотам. Марки текстолита: ПТК и ПТ – текстолит первого и второго сортов, предназначенный для изготовления подшипников скольжения общего назначения; ПТМ–1, ПТМ–2 – предназначен для изготовления вкладышей подшипников прокатных станков; ПТК–С – антифрикционный текстолит, имеющий плотность 1,4 г/см<sup>3</sup> и предел прочности при сжатии 250 МПа (2500 кгс/см<sup>2</sup>); ПТГ–1 – графитизированный текстолит с пределом прочности при сжатии 200 МПа (2000 кгс/см<sup>2</sup>) и ударной вязкостью 30 кДж/м<sup>2</sup>.

**Древеснослоистые пластики (ДСП)** – спрессованный слоистый материал из древесного шпона, пропитанный небольшим количеством фенолформальдегидной смолы. Для изготовления дейдвудных подшипников используется древесно-слоистый пластик марки ДСП–А, в качестве конструкционных антифрикционных материалов, заменяющих цветные металлы, а также для изготовления деталей, работающих в узлах трения (втулок, подшипников, шестерен и др.), применяются пластики марок ДСП–Б, ДСП–В, ДСП–Г; для изготовления лесопильных рам и других нагруженных деталей – ДСП–Б–м, ДСП–В–м и ДСП–Г–м. В морской воде хорошо работают дейдвудные (судовые) подшипники из древесно-текстолитового пластика Д5ТСП. Этот пластик, состоящий из шпона и хлопчатобумажной ткани, пропитан фенольным связующим и подвергнут горячему прессованию.

**Антифрикционные резиновые подшипники**, представляющие собой металлические втулки (арматуру) с нанесенным на них слоем резины определенного антифрикционного состава, надежно работают с водяной смазкой. Они используются в качестве опор гребных валов (судовые подшипники диаметром 30–240 мм, ГОСТ 7199–77), погружных насосов, турбобуров (ГОСТ 4671–76), водяных турбин и других узлов машин, эксплуатируемых в водной среде. По сравнению с металлическими и древеснослоистыми такие подшипники более износостойки. Величина их допустимых нагрузок зависит от частоты вращения вала, смазки и других условий эксплуатации узла трения.

**Фторопласт–4** обладает хорошими антифрикционными свойствами. Однако он недостаточно прочен и износостоек. Более эффективно его применение в сложной комбинации с другими материалами.

**Металлофторопластовые подшипники** хорошо работают в узлах сухого трения без смазки при больших нагрузках и скоростях скольжения. Их изготавливают из стальной ленты (сталь 08кп или 10кп), покрытой с обеих сторон слоем меди М1 или латуни Л90. На ленте спекается высокопористый бронзовый слой из сферического бронзового порошка (9–11% сурьмы). Пористый слой пропитывается путем втирания композиции, состоящей из 75% суспензии фторопласта–4ДВ и 25% дисульфидомолибдена. Такие подшипники работают при температурах от –200 до +280°C (табл. 5.50).

Таблица 5.50

Предельные режимы работы полимерных и пластмассовых материалов

| Материал                     | Работа без смазки  |               |                          |                 | Работа со смазкой  |               |                          |                 |
|------------------------------|--------------------|---------------|--------------------------|-----------------|--------------------|---------------|--------------------------|-----------------|
|                              | коэффициент трения | давление, МПа | скорость скольжения, м/с | температура, °С | коэффициент трения | давление, МПа | скорость скольжения, м/с | температура, °С |
| Фторопласт–4                 | 0,04–0,08          | 0,5–0,7       | 0,5                      | –               | 0,02–0,03          | 1,5           | 5                        | –               |
| Фторопласт–4 (Ф–4К20)*       | 0,08–0,1           | 1–2,5         | 1                        | 120             | 0,03               | 3,5–4         | 8–10                     | 200             |
| Фторопласт–40                | 0,5–0,6            | 0,6–0,8       | 0,5                      | 100             | 0,06–0,08          | 5,5           | 4                        | 160             |
| Фторопласт–40 (Ф40С15М1.5)   | 0,25–0,35          | 1–1,2         | 1                        | 100             | 0,025–0,08         | 8             | 7                        | 160–180         |
| Фторопласт–3                 | 0,07–0,08          | 0,35          | 0,5                      | 50              | 0,04–0,05          | 1             | 3                        | 125             |
| Полиамидные смолы АК–7,П–610 | 0,17–0,2           | 2–3           | 0,5                      | 75              | 0,08–0,14          | 2,5–3         | 0,5                      | 100             |
| Капрон                       | 0,15–0,34          | 1,5–2,5       | 0,2                      | 80–90           | 0,08–0,16          | 2,5–3         | 0,5                      | 90–100          |
| Капрон (АТМ–2)               | 0,1–0,2            | 2–2,5         | 2,5–3                    | 140             | 0,08–0,12          | 8–10          | 6–8                      | 175             |
| Текстолит                    | 0,2–0,3            | 5             | 1                        | 80              | 0,06–0,1           | 10            | 5–10                     | 100             |

\* – в скобках указан наполнитель.



**Антифрикционные биметаллические материалы и метапластовые композиции** применяют для производства стандартных втулок и вкладышей. Тонкостенные вкладыши коренных и шатунных подшипников дизелей и газовых двигателей изготавливают сталеалюминиевыми (сталь 08кп или 10, алюминиевый сплав АО9–1 или А020–1), сталебронзовыми (сталь 10, бронза БрС30), сталебаббитовыми (сталь 10 или 15, баббит Б83, Б89), бронзобаббитовыми (бронза БрОЗЦ12С5, баббит БК.–2). Вкладыши коренных и шатунных подшипников тракторов и комбайновых двигателей выполняют из сталеалюминиевых лент (сталь 08кп, алюминиевый сплав АСМ, А020–1).

## 5.9.2. ФРИКЦИОННЫЕ (ТОРМОЗНЫЕ) МАТЕРИАЛЫ

Применяются в тормозах и механизмах плавной передачи вращения трением. Их основная особенность – высокий коэффициент трения.

### 5.9.2.1. Тормозные тканые асбестовые ленты (ГОСТ 1198–93)

Используются в качестве накладок в тормозных и фрикционных узлах машин и механизмов с поверхностной температурой трения до 300°C. Ширина лент–13–200 мм, толщина – 4–12 мм, длина – до 50 м. В зависимости от пропитки и назначения асбестовые тормозные ленты делятся на три типа:

ЛАТ–1 (с масляно–смоляной пропиткой) – для малонагруженных тормозных механизмов различных кранов и других тормозных и фрикционных устройств, работающих при давлении до  $113 \cdot 10^4$  Па (11,5 кгс/см<sup>2</sup>);

ЛАТ–2 (с масляной пропиткой) – для тормозных механизмов тракторов, автомашин, комбайнов, работающих при давлении до  $490 \cdot 10^4$  Па (50 кгс/см<sup>2</sup>);

ЛАТ–3 (с каучуковой пропиткой)– для тормозных узлов якорно–швартовных судовых механизмов, работающих при давлении до  $1180 \cdot 10^4$  Па (120 кгс/см<sup>2</sup>).

Коэффициент трения асбестовых лент составляет: по стали – 0,3–0,5, по чугуну – до 0,41; плотность – 1,2 – 1,65 г/см<sup>3</sup>.

### 5.9.2.2. Асбестовые эластичные материалы (ГОСТ 15960–96)

Предназначены для тормозных узлов, работающих при поверхностной температуре трения до 200°C без масла. Они выпускаются в виде вальцованных лент трех марок:

ЭМ–1 – для тормозных и фрикционных узлов строительно–дорожного и подъемно–транспортного оборудования, прессов и других машин, работающих при давлении до  $147 \cdot 10^4$  Па (15 кгс/см<sup>2</sup>);

ЭМ–2 – для тормозных узлов тракторов, сельскохозяйственных и других машин, работающих при давлении до  $245 \cdot 10^4$  Па (25 кгс/см<sup>2</sup>);

ЭМ–3 – для тормозных узлов мотороллеров и мотоциклов, работающих при давлении до  $79 \cdot 10^4$  Па; (8 кгс/см<sup>2</sup>).

Эластичность лент проверяется путем их изгиба на 180° вокруг круглой оправки с диаметром, равным 40 толщине испытываемой ленты. Плотность лент – 2–2,25 г/см<sup>3</sup>, коэффициент трения по стали – 0,4–0,44.

Для узлов трения автомобилей, самолетов, тракторов, металлорежущих и текстильных станков, подъемно–транспортного оборудования и тепловозов выпускаются фрикционные асбестовые накладки (ГОСТ 1786–95) – формованные, пресованные, тканые, картонно–бакелитовые и спирально навитые. Они могут эксплуатироваться во всех климатических зонах. Стандарт предусматривает 168 типоразмеров накладок. В нем приведены их наружные и внутренние диаметры, толщина, допустимые температуры при длительной и кратковременной эксплуатации, передаваемый крутящий момент, допустимая частота вращения, удельное давление. Твердость накладок – 170–360 НВ, коэффициент трения по чугуно – 0,28–0,55, линейный износ по чугуно – 0,88–0,22 мм, теплостойкость – до  $(167–480) \cdot 10^6$  Па (17– 49 кгс/мм<sup>2</sup>), увеличение массы в жидких средах (вода, масло) – до 1%.

Накладки обозначаются десятизначным номером, например: 25 7111 5602 – для демпфера руля, 25 7112 4317 – для фрикциона лущильного станка, 25 7113 1164 – для предохранительной муфты. Ресурс накладок, работающих в узлах трения, достаточно высок. Например, для автомобилей с дизелями он составляет 6 тыс. моточасов, легковых автомобилей – 125 тыс. км, грузовых автомобилей – 75 тыс. км при эксплуатации на дорогах первой категории (для дорог второй категории ресурс снижается на 20%, третьей категории – на 40%).

### 5.9.2.3. Асботекстолит марок а, б и г (ГОСТ 5–78)

Используется в качестве теплоизоляционного материала, а также материала для изготовления тормозных и фрикционных деталей.

Теплостойким фрикционным материалом является ретинакс (ГОСТ 10851–94). Он выпускается двух марок:

А – асбестосмоляная композиция с включениями латунной проволоки, предназначенная для работы с чугуном ЧНМХ при поверхностной температуре трения до 1100°C, скорости скольжения до 50 м/с и давлении до  $250 \cdot 10^4$  Па (25 кгс/см<sup>2</sup>); плотность ретинакса марки А – 2,4–2,8 г/см<sup>3</sup>, предел прочности при срезе – до 23 МПа (230 кгс/см<sup>2</sup>) и при сжатии – 56 МПа (560 кгс/см<sup>2</sup>), твердость – 35–56 НВ;

Б – асбестосмоляная композиция, предназначенная для работы с серым чугуном и легированными сталями при температурах до 700°C, скорости скольжения 10 м/с и давлении  $150 \cdot 10^4$  Па (15 кгс/см<sup>2</sup>); свойства ретинакса марки Б улучшенного качества и первой категории соответственно: плотность – 2,13 и 2,45 г/см<sup>3</sup>, предел прочности при срезе – 25,5 и 19,5 МПа (255 и 195 кгс/см<sup>2</sup>), при сжатии 71 и 57,5 МПа (710 и 575 кгс/см<sup>2</sup>), твердость – 25 и 50 НВ, линейный износ при работе с чугуном марки СЧ 15 за 2 ч – не более 0,16 и 0,19 мм.

Коэффициент трения ретинакса существенно изменяется в зависимости от температуры. Наименьший коэффициент трения – в интервале температур от 400 до 700°C.

### 5.9.2.4. Фрикционные материалы, получаемые методом порошковой металлургии (металлокерамические)

Обладают высокими фрикционными свойствами. Они имеют высокий коэффициент трения, хорошую износостойкость и теплостойкость. Такие материалы применяются в узлах трения самолетов, автомобилей, тракторов, металлорежущих станков и других машин и оборудования. Металлокерамические фрикционные материалы могут работать в узлах сухого трения и в масле. Наиболее распространенными металлокерамическими фрикционными материалами являются:

МК-5 – состоит из 9% олова, 9% свинца, 4% железа, 7% графита, остальное – медь; применяется в гидротрансмиссиях автомобилей, тракторов, тепловозов и других машин;

ФМК-11 – 15% меди, 9% графита, 3% двуокиси кремния, 6% сернокислого бария, 3% асбеста, остальное – железо;

МКВ-50А – 10% меди, 8% графита, 3% асбеста, 5% карбида кремния, 5% карбида бора, остальное – железо;

СМК-80 – 23% меди, 6,5–10% марганца, 2–5% дисульфида молибдена, 6–12% нитрида бора, остальное – железо;

ФАБ – 8% свинца, 7% графита, 5% железа, 11% алюминия, остальное – медь.

Основные свойства этих материалов: плотность – 5–7 г/см<sup>3</sup>, предел прочности при растяжении – 19,5–98 МПа (2–10 кгс/мм<sup>2</sup>), при сжатии – 147–490 МПа (15–50 кгс/мм<sup>2</sup>) твердость – 15–100 НВ, коэффициент линейного расширения при 25–500°C – 10,9–22.

## 5.10. МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ПОЛУЧАЕМЫЕ МЕТОДОМ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ. МЕТАЛЛОКЕРАМИКА

Порошковая металлургия – область техники, охватывающая совокупность методов изготовления металлических порошков и металлоподобных соединений, полуфабрикатов и изделий из них, а также из их смесей с неметаллическими порошками без расплавления основного компонента.

Порошки получают химическими или механическими способами. Формообразование заготовок (изделий) осуществляют в холодном состоянии либо при нагревании. Холодное формообразование происходит при осевом прессовании на механических и гидравлических прессах или при давлении жидкости на эластичную оболочку, в которую помещают порошки (гидростатический метод). В настоящее время применяется взрывное формообразование. Спрессованное под давлением газов, образующихся в результате взрыва, изделие подвергают спеканию при  $0,75 T_{пл}$  ( $T_{пл}$  – температура плавления) в течение 0,5–6 ч в защитной атмосфере или в вакууме. Горячим прессованием в штампах под молотом (динамическое прессование) или газостатическим методом в специальных контейнерах за счет давления (15–400 тыс. Па) горячих газов получают изделия из плохо спекающихся материалов – тугоплавких соединений. В состав спеченных материалов (псевдосплавов) включаются неметаллические компоненты – графит, глинозем, карбиды, бориды, придающие им особые свойства. Получить обычные (литые) сплавы с такими свойствами невозможно. Для создания спеченных материалов с закрытыми порами в композицию вводят газообразующие вещества. В результате внедрения спеченных материалов на каждую 1000 т изготовленных деталей экономится 1500–2000 т металла, высвобождается более 50 единиц металлорежущих станков, трудоемкость снижается на 120 тыс. нормо-часов, производительность труда возрастает более чем в 1,5 раза.

Для изготовления подшипников, фильтров, элементов транспортеров, лопаток газовых турбин и других изделий применяется **пористый спеченный материал**. Средний размер пор такого материала 12–250 мкм, номинальный пропускной поток воздуха – 0,0032–1 м<sup>3</sup>/мин, жидкости – 0,1–150 л/мин, внутреннее разрушающее давление – 0,5–2,5 МПа (5–25 кгс/см<sup>2</sup>). Фильтры из пористого спеченного материала служат для очистки жидкостей, газов, минеральных масел, воды, жидкого топлива и растворителей.

Для изготовления различных деталей широко используется **спеченный алюминиевый сплав (САП)** – материал, получаемый путем прессования и спекания алюминиевой комкованной пудры марок АПС-1А, АПС-1Б, АПС-2 и АПС-3 (ГОСТ 10096–76) и окиси алюминия. Прочность САП в интервале температур от 300 до 500°C снижается в 3–4 раза, тогда как прочность обычных алюминиевых сплавов уменьшается при этом в 20–25 раз. Свойства САП сохраняются после 10 тыс. ч работы. Механические свойства его при температурах 20, 350 и 500°C соответственно составляют: предел прочности – 295–450, 137–225 и 68–132 МПа (30–46, 14–23 и 7–13,5 кгс/мм<sup>2</sup>); предел текучести – 206–372, 137–186 и 49–108 МПа (21–38, 14–19 и 5–11 кгс/мм<sup>2</sup>); относительное удлинение – 1,5–8, 1–6 и 1–3%. В промышленности применяется САП четырех марок: САП-1 (6–9), САП-2 (9,1–13), САП-3 (13,1–181) и САП-4(18,1–22), где в скобках приведена массовая доля окиси алюминия в процентах.

Для однослойной и многослойной наплавки крупногабаритных деталей, работающих в условиях абразивного износа, служит **электродная наплавочная спеченная лента** на железной основе (ГОСТ 22366–93). В зависимости от химического состава и назначения стандарт предусматривает семь марок такой ленты:

ЛС-70ХЗНМ (А) – для однослойной наплавки и ЛС-70ХЗНМ (Б) – для многослойной наплавки деталей, работающих в условиях абразивного изнашивания, сопровождаемого ударными нагрузками (штампы холодной вырубки, ножи бульдозеров и грейдеров, ножевые диски плугов, детали грузовых автомобилей и тракторов);

ЛС-5Х4ВЗФС – для многослойной наплавки деталей, работающих в условиях циклической термической нагрузки и умеренного абразивного изнашивания (валки прокатных станов, ножи для резки горячего металла);

ЛС-5Х4В2МФС – для многослойной наплавки деталей, работающих в условиях циклической термической нагрузки и высокого абразивного изнашивания;

ЛС-08Х21Н9Г – для многослойной наплавки деталей машин и аппаратов, работающих в агрессивных средах при обычных и повышенных температурах;

ЛС-У10Х7ГР1 – для многослойной наплавки деталей, работающих в условиях интенсивного абразивного изнашивания, сопровождаемого умеренными ударными нагрузками (катки гусеничного хода тракторов, ножи бульдозеров, шнеки бетономешалок и др.);

ЛС-1Х14НЗ – для многослойной наплавки плунжеров гидравлических прессов и других деталей.

В инструментальном производстве получили широкое распространение **твердые спеченные сплавы** (ГОСТ 3882–74). Они состоят из смеси порошков карбида вольфрама (основа) – 66–97% и кобальта – 3–25%. В зависимости от марки сплава в него добавляют такие компоненты, как карбид титана – 3–30% и карбид тантала – 2–12%. Физико-механические свойства сплавов: предел прочности при изгибе – 1176–2156 МПа (120–220 кгс/мм<sup>2</sup>), плотность – 9,5–15,3 г/см<sup>3</sup>, твердость – 79–92

НРА. По содержанию основных компонентов порошков в смеси твердые спеченные сплавы подразделяются на три группы: вольфрамовые, титано-вольфрамовые и титано-тантало-вольфрамовые, по области применения – на сплавы для обработки материалов резанием, оснащения горного инструмента, бесстружковой обработки металлов, для наплавки быстроизнашивающихся деталей машин, приборов и приспособлений.

*Сплавы для обработки материалов резанием:*

ВКЗ – для чистового точения с малым сечением среза, окончательного нарезания резьбы, развертывания отверстий и других видов обработки серого чугуна, цветных металлов и сплавов и неметаллических материалов (резины, фибры, пластмасс, стеклопластика и др.), а также для резки листового стекла;

ВКЗ–М – для чистовой обработки твердых, легированных и отбеленных чугунов, цементированных и закаленных сталей, высокоабразивных неметаллических материалов. Высокая износостойкость, умеренная прочность и сопротивляемость ударам;

ВК4 – для чернового точения при неравномерном сечении среза, чернового и чистового фрезерования, рассверливания, растачивания нормальных и глубоких отверстий, чернового зенкерования при обработке чугуна, сплавов цветных металлов, титана и его сплавов. Высокая износостойкость и эксплуатационная прочность;

ВК6–ОМ – для чистовой и получистовой обработки твердых, легированных и отбеленных чугунов, закаленных сталей и некоторых высоколегированных сталей и сплавов, особенно сплавов на основе титана, вольфрама и молибдена;

ВК6–М – для получистовой обработки жаропрочных сталей и сплавов, нержавеющей сталей аустенитного класса, специальных твердых чугунов, закаленного чугуна, твердой бронзы, сплавов легких металлов, абразивных неметаллических материалов, пластмасс, бумаги, стекла, для обработки закаленных и «сырых» углеродистых и легированных сталей при тонких сечениях среза на весьма малых скоростях резания;

ТТ8К6 – для чистового и получистового точения и фрезерования серого, ковкого и отбеленного чугуна, непрерывного точения с небольшими сечениями среза стального литья, высокопрочных, нержавеющей и закаленных сталей, обработки цветных металлов и некоторых титановых сплавов при малых и средних сечениях среза;

ВК6 – для чернового и получистового точения и фрезерования серого чугуна, цветных металлов и сплавов, а также неметаллических материалов;

ВК8 – для чернового точения при неравномерном сечении среза и прерывистом резании, строгания, чернового фрезерования, сверления, рассверливания, зенкерования серого чугуна, цветных металлов и сплавов, неметаллических материалов, нержавеющей, высокопрочных, жаропрочных труднообрабатываемых сталей и сплавов, а также сплавов титана. Волочение и калибровка труб, проволоки. Штамповый инструмент;

ВК10М – для сверления, зенкерования, развертывания, фрезерования и зубофрезерования стали, чугуна некоторых трудно обрабатываемых материалов и металлов цельнотвердосплавным мелкогабаритным инструментом. Малая износостойкость, более высокая эксплуатационная прочность, чем у сплава ВК8;

ВК15 – для деревообработки. Ударное бурение горных пород гранита. Обработка дерева резанием. Изготовление быстроизнашивающихся деталей штампов. Высокая ударная и эксплуатационная прочность;

Т30К4 – для чистового точения с малым сечением среза (алмазная обработка) незакаленных и закаленных углеродистых сталей. Высокая износостойкость, малая эксплуатационная прочность;

Т15К6 – для получернового точения при непрерывном резании, чистового точения при прерывистом резании и чистового фрезерования углеродистых и легированных сталей. Эксплуатационная прочность выше, а износостойкость ниже, чем у сплава Т30К4;

Т14К8 – для чернового точения при неравномерном сечении среза и непрерывном резании получистового и чистового точения при прерывистом резании, чернового фрезерования сплошных поверхностей, рассверливания литых и кованных отверстий и других видов обработки резанием углеродистых и легированных сталей;

Т5К10 – для чернового точения при неравномерном сечении среза и прерывистом резании, фасонного точения, отрезки токарными резцами, чистового строгания, чернового фрезерования прерывистых поверхностей и других видов обработки резанием углеродистых и легированных сталей;

Т5К12 – для чернового точения в тяжелых условиях резания стальных поковок, штамповок и отливок по корке с раковинами при наличии песка, шлака и различных неметаллических включений, при неравномерном сечении среза и ударной нагрузке на резец;

ТТ7К12 – для тех же целей, что и сплав Т5К12, а также для чернового фрезерования в тяжелых условиях резания углеродистых и легированных сталей;

ТТ10К8–Б – для черновой и получистовой обработки некоторых труднообрабатываемых материалов, нержавеющей сталей аустенитного класса, маломагнитных, жаропрочных и титановых сталей и сплавов. Высокая эксплуатационная прочность и стойкость к ударам. Умеренная износостойкость;

ТТ20К9 – для фрезерования глубоких пазов и других видов обработки резанием труднообрабатываемых материалов.

Сплавы для оснащения горного инструмента: ВК6, ВК6В, ВК4–В, ВК8, ВК8ВК, ВК8В, ВК11ВК, ВК11В, ВК15, ВК5. Из этих сплавов изготавливают буровые коронки и резцы, шарошечные долота, камнерезный инструмент, сверла, зубила и другой инструмент для горнодобывающей промышленности.

*Сплавы для бесстружечной обработки металлов, наплавки быстроизнашивающихся деталей машин, приборов и приспособлений:*

ВКЗ, ВКЗ–М, ВК4, ВК6, ВК6–М – изготовление волок для сухого волочения проволоки из стали, цветных металлов и сплавов при небольшой степени обжата, наплавка быстроизнашивающихся деталей машин, приборов и измерительного инструмента, работающих без ударных нагрузок;

ВК8, ВК10 – изготовление волок и матриц, применяемых при волочении и прессовании прутков и труб из стали и цветных металлов и сплавов; наплавка быстро изнашивающихся деталей машин, приборов и измерительного инструмента, работающих при небольших ударных нагрузках (сплав ВК8) и при ударных нагрузках средней интенсивности (сплав ВК10);

ВК15 – изготовление матриц и волок, работающих в условиях повышенного сжатия, инструмента, работающего с ударными нагрузками малой интенсивности (штамповка, высадка, обрезка, вытяжка);

ВК20, ВК25 – изготовление штампового инструмента, работающего при ударных нагрузках средней и высокой интенсивности (штамповка, высадка, обрезка). Эксплуатационная и ударная прочность выше, чем у сплава ВК15, а износостойкость ниже;

ВК10–КС – изготовление инструмента для обработки давлением легированных и специальных сталей при ударных нагрузках малой интенсивности;

ВК20–КС – изготовление штампов для штамповки, высадки и обрезки легированных и специальных сталей и сплавов при ударных нагрузках средней интенсивности;

ВК20К – изготовление штампов для объемной штамповки и высадки, работающих при обычных и повышенных температурах нагрева углеродистых, легированных и специальных сталей в условиях ударных нагрузок высокой интенсивности.

В обозначении марок сплавов буква К означает – кобальт, В – карбид вольфрама, Т – карбиды титана и тантала; цифры соответствуют процентному содержанию порошков компонентов, входящих в сплав. Например, сплав ВК3 содержит 3% кобальта, остальное – карбид вольфрама; Т15К6 – 6% кобальта, 15% карбидов титана, остальное – карбид вольфрама; ТТ7К12 – 12% кобальта, 7% карбидов титана и тантала, остальное – карбид вольфрама.

Дефицит вольфрама обусловил необходимость разработки безвольфрамовых твердых сплавов, не уступающих по основным свойствам спеченным сплавам на основе карбидов вольфрама. Высокими свойствами обладает, например, твердый сплав на основе карбонитрида титана (КНТ). Его плотность – 5,6–6,2 г/см<sup>3</sup>, твердость – 88–93 HRA, коэффициент стойкости при точении сталей 50 и ШХ15 – 1,5–2. Высокую твердость (87,5–91 HRA) и плотность (5,5–5,9 г/см<sup>3</sup>) имеют сплавы на основе карбида титана (26–79%); ТНМ–20, ТНМ–25, ТНМ–30, КТНМ–30А, КТНМ–30Б. Карбидохромовые твердые сплавы марок КХН–10, КХН–15, КХН–20, КХН–30, КХН–35 и КХН–40 (цифра в обозначении марок этих сплавов указывает на процентное содержание никеля, остальное – карбид хрома) не окисляются при нагреве в воздушной среде до 1100°С, хорошо сопротивляются истиранию, абразивному износу и коррозии, обладают низкой склонностью к схватыванию. Их плотность – 6,6–7 г/см<sup>3</sup>, твердость – 80–90 HRA, прочность при сжатии – 2800–3500 МПа (280–350 кгс/мм<sup>2</sup>), при изгибе – 400–700 МПа (40–70 кгс/мм<sup>2</sup>). Сплавы твердые спеченные (табл. 5.51).

Таблица 5.51

Основные характеристики сплавов твердых спеченных (ГОСТ 3882–74)

| Марка  | $\gamma$ , г/см <sup>3</sup> | HRA  | $\sigma_{\text{н}}$ , МПа | Марка    | $\gamma$ , г/см <sup>3</sup> | HRA  | $\sigma_{\text{н}}$ , МПа |
|--------|------------------------------|------|---------------------------|----------|------------------------------|------|---------------------------|
| ВК3    | 15–15,3                      | 89,5 | 1176                      | ВК10     | 14,2–14,6                    | 87,0 | 1764                      |
| ВК3–М  | 15,3                         | 91,0 | 1176                      | ВК15     | 13,9–14,1                    | 86,0 | 1862                      |
| ВК6    | 14,6–15,0                    | 88,5 | 1590                      | ВК20     | 13,4–13,7                    | 84,0 | 2058                      |
| ВК6–М  | 14,8–15,1                    | 90   | 1421                      | ВК25     | 12,9–13,2                    | 82,0 | 2156                      |
| ВК4    | 14,9–15,2                    | 89   | 1519                      | Т30К4    | 9,5–9,8                      | 92   | 980                       |
| ВК4–В  | 14,9–15,2                    | 88   | 1470                      | Т15К6    | 11,1–11,6                    | 90   | 1176                      |
| ВК8    | 14,4–14,8                    | 87,5 | 1616                      | Т14К8    | 11,2–11,6                    | 89,5 | 1274                      |
| ВК8–В  | 14,4–14,8                    | 86,5 | 1813                      | Т5К10    | 12,4–13,1                    | 88,5 | 1421                      |
| ВК8–ВК | 14,5–14,8                    | 87,5 | 1764                      | Т5К12    | 13,1–13,5                    | 87,0 | 1666                      |
|        |                              |      |                           | ТТ10К8–Б | 13,5–13,8                    | 89,0 | 1617                      |

## 5.11. МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

### 5.11.1. РЕЗИНА

Резина как конструкционный материал отличается высокими эластичными свойствами в широком диапазоне температур и частот деформации. Кроме того, резины обладают высоким сопротивлением разрыву, износу, газо- и водонепроницаемостью, химической стойкостью, ценными электрическими свойствами и др.

По назначению производят резины:

- а) мягкие – для изделий и деталей промышленной техники;
- б) жесткие (эбонитовые) – для изделий электротехнической промышленности;
- в) пористые или губчатые, применяемые в качестве амортизаторов;
- г) пастообразные для герметизации и уплотнения.

Основой всех резин служат каучуки. Основные свойства и назначение различных резин приведены в табл. 5.52 и 5.53.

Физические и механические свойства резин из разных каучуков

| Каучуки                                 | Физические свойства       |   |                                    | Механические свойства                       |                             |                          |   |
|---|---------------------------|---|------------------------------------|---|-----------------------------|--------------------------|---|
|   | температура хрупкости, °С | плотность сырого каучука, г/см <sup>3</sup> | удельное сопротивление, Ом·см      | временное сопротивление при растяжении, МПа | сопротивление раздиру, Н/см | удлинение при разрыве, % | напряжение при 300 %-ном удлинении, МПа |
| Изопреновые:<br>синтетический СКИ – 0   | –70                       | 0,91–0,92                                   | 10 <sup>15</sup> –10 <sup>16</sup> | 28,3–29,3                                   | 1000–1150                   | 700                      | 3,4                                     |
| натуральный НК                          | –70                       | 0,91–0,92                                   | 10 <sup>15</sup> –10 <sup>16</sup> | 32–33                                       | 1000–1350                   | 600–700                  | 3,9                                     |
| Бутадиеновые:<br>СКД                    | –110                      | 0,91–0,93                                   | 10 <sup>14</sup> –10 <sup>15</sup> | 17  | 500–600                     | 500–700                  | 5,9–7,4                                 |
| СКБ                                     | –50                       | 0,90–0,92                                   | 10 <sup>14</sup> –10 <sup>15</sup> | 12,7–15,7                                   | 450–600                     | 500–600                  | 6,4                                     |
| Бутадиен–стирольные:<br>СКС–30, АРКМ–15 | –49                       | 0,994                                       | 7·10 <sup>14</sup>                 | 24–25                                       | 550–650                     | 550–750                  | 8,8–9,8                                 |
| СКС–30, АРК                             | –77                       | 0,919                                       | 7·10 <sup>14</sup>                 | 27,4–28                                     | 450–750                     | 550–750                  | 3,9–5,9                                 |
| Бутадиен–нитрильные:<br>СКН–18          | –58                       | 0,943                                       | 10 <sup>10</sup>                   | 24,4–26,5                                   | 550–650                     | 450–550                  | До 10,7                                 |
| СКН–26                                  | –46                       | 0,962                                       | 10 <sup>10</sup>                   | 27,4–29,2                                   | 600–700                     | 600–700                  | 9,8–11,7                                |
| СКН–40                                  | –23                       | 0,986                                       | 10 <sup>10</sup>                   | 29,2–32                                     | 570–650                     | 600–700                  | 9,8–11,7                                |
| Хлоропреновый (наирит)                  | –34                       | 1,225                                       | 7·10 <sup>14</sup>                 | 19,5–26                                     | 600–900                     | 600–750                  | 14,6                                    |
| Бутилкаучук                             | –45                       | 0,91  | 10 <sup>16</sup>                   | 15,7–23,5                                   | 650–950                     | 650–800                  | 2,9–5,9                                 |
| Силоксановый каучук СКТ                 | –74                       | 1,7–2,0                                     | 3·10 <sup>13</sup>                 | 3,4–7,8                                     | 150–200                     | 360                      | 1,9–2,9                                 |
| Тиокол Д                                | –40                       | 1,3–1,4                                     | 1,6·10 <sup>15</sup>               | 3,7–4,1                                     | 40–50                       | 250–430                  | –                                       |
| Этиленпропиленовый СКЭП                 | –45                       | 0,86–0,87                                   | 10 <sup>16</sup>                   | 22,5–24,5                                   | 550                         | 550–650                  | До 11,7                                 |
| Уретановый СКУ                          | –30                       | 1,21–1,25                                   | 10 <sup>16</sup>                   | 24,5–34                                     | 300–600                     | 500–585                  | 12,3–29                                 |

\* При 20 °С.

Таблица 5.53

Назначение наиболее распространенных каучуков

| Каучук   | Область применения  |
|--|---|
| Изопреновые (стереорегулярные). Синтетический СКИ–30. Натуральный                    | Шины, резинотехнические и резиновые изделия ширпотреб, изоляция кабелей и др.                                 |
| Бутадиеновые СКД, СКБ  | Морозостойкие изделия. Приводные ремни, формовые изделия, оболочки кабелей, озоностойкие изделия и покрытия   |
| Бутадиен–стирольные (СКС–30, АРКМ, СКМС–36, СКС–10, СКСМ–10). Хлоропреновые (наирит) | Масло– и бензостойкие изделия, газонепроницаемые и озоностойкие изделия – шины, варочные камеры, диафрагмы    |
| Бутил  | Масло–, бензо–, тепло– и растворителестойкие изделия – транспортные ленты для подачи горючих материалов и др. |
| Бутадиен–нитрильные СКН–18, СКН–26, СКН–40. Силоксановые СКТН, СКТ                   | Сверхтеплостойкие и морозостойкие изделия, электротехнические детали и др.                                    |
| Тиокол   | Масло– и бензостойкие изделия, уплотнители, герметики   |
| Этиленпропиленовый СКЭП  | Озоностойкие и другие химически стойкие и электротехнические изделия  |

### 5.11.2. ПЛАСТИЧЕСКИЕ МАССЫ

Пластические массы и другие неметаллические материалы обладают рядом превосходных физико–химических, механических и технологических свойств, что обусловило их широкое распространение в различных отраслях промышленности – в машиностроении, электротехнике, электронике и др. Как конструкционный материал пластические массы все более вытесняют дорогостоящие металлы. Изготовление деталей и узлов из пластмасс менее трудоемко, чем из металлов, себестоимость их значительно ниже себестоимости металлических изделий. Применение пластических масс дает возможность постоянно совершенствовать конструкции. Оснащение машин и оборудования деталями из пластмасс позволяет снизить их массу, улучшить надежность и долговечность работы, повысить производительность. Для производства пластмасс требуется в 2–3 раза меньше капитальных вложений, чем для производства цветных металлов. Исходными материалами для получения пластических масс служат дешевые продукты переработки каменного угля, нефти и природного газа.

Пластические массы получают на основе высокомолекулярных соединений – полимеров. Их разделяют на два класса – термопласты и реактопласты. **Термопласты** (термопластичные пластмассы) при нагреве расплавляются, а при охлаждении возвращаются в исходное состояние. **Реактопласты** (термореактивные пластмассы) отличаются более высокими рабочими температурами, но при нагреве разрушаются и при последующем охлаждении не восстанавливают свои исходные свойства. Основные механические характеристики пластмасс те же, что и для металлов.

**Твердость пластмасс** определяется по Бринеллю при нагрузках 500–2500 Н на шарик диаметром 5 мм.

**Теплостойкость по Мартенсу** – температура, при которой пластмассовый брусок размерами 120x15x10 мм, изгибаемый при постоянном моменте, создающем наибольшее напряжение изгиба на гранях 120x15 мм, равное 5,0 МПа, разрушится или изогнется так, что укрепленный на конце образца рычаг длиной 240 мм переместится на 6 мм.



**Теплостойкость по Вика** – температура, при которой цилиндрический стержень диаметром 1,13 мм под действием груза массой 5 кг (для мягких пластмасс 1 кг) углубится в пластмассу на 1 мм.

**Температура хрупкости (морозостойкость)** – температура, при которой пластичный или эластичный материал при ударе может разрушиться хрупко.

### 5.11.3. КОНСТРУКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

**Композиционные материалы** образованы объемным сочетанием химически разнородных компонентов с четкой границей раздела между ними. В композиционных материалах сочетаются лучшие свойства различных составляющих фаз – прочность, пластичность, износостойкость и т. п.

Детали из композиционных материалов изготавливают прессованием, экструзией, прокаткой, вибрационными уплотнениями и т. д. с последующим спеканием в защитной среде.

Пластмассы подвергают армированию. При изготовлении деталей из пластмасс применяют различные наполнители и красители. Ниже приведены наиболее распространенные неметаллические материалы.

**Аминопласты** – прессовочные карбамидо- и меламиноформальдегидные массы (ГОСТ 9359–80), получаемые на основе аминосмол (термореактивных продуктов конденсации формальдегида с карбамидом, меламином или их сочетанием) с использованием наполнителей (органических, минеральных или их сочетанием), окрашивающих и модифицирующих веществ. Из аминопластов путем горячего прессования изготавливают изделия бытового, технического и электротехнического назначения, а также изделия, применение которых связано с пищевыми продуктами. В зависимости от состава, свойств и назначения аминопласты подразделяются на пять типов (КФА – общего назначения, МФБ – светотехнические, МФВ – с повышенными электроизоляционными свойствами, МФД – с повышенной тепло- и дугостойкостью, МФЕ – с повышенной механической прочностью, тепло- и дугостойкостью) и одиннадцать марок:

КФА1 – для изготовления просвечивающих изделий технического и бытового назначения, не контактирующих с пищевыми продуктами;

КФ2 – для изготовления просвечивающих изделий технического и бытового назначения, контактирующих с сыпучими пищевыми продуктами;

КМФА3 – для изготовления непросвечивающих изделий бытового назначения, не контактирующих с пищевыми продуктами, а также изделий светотехнического назначения;

КФБ1 – для изготовления изделий электротехнического назначения и изделий, контактирующих с пищевыми продуктами;

МФВ1, МФВ2, МФВ3, МФВ4, МФВ5 – для изготовления изделий электротехнического назначения;

МФД1 – для изготовления изделий электротехнического назначения, к которым предъявляются повышенные требования по дуго- и теплостойкости;

МФЕ1 – для изготовления изделий электротехнического назначения, к которым предъявляются повышенные требования по дуго- и теплостойкости, механической прочности, износостойкости в условиях нормального и влажного тропического климата (при 35°C и относительной влажности 98%).

В зависимости от марки аминопласты поставляются в виде тонкого порошка (окрашенного в широкую гамму тонов), крошки серого цвета и рыхлых пучков стекляной нити. Аминопласты устойчивы к действию влаги, нагреванию, светостойки. Их теплостойкость составляет не менее 100–180°C, ударная вязкость – 3,9–29,4 кДж/м<sup>2</sup> (4–30 кгс·см/см<sup>2</sup>), удельное объемное электрическое сопротивление –  $1 \cdot 10^{11}$  –  $1 \cdot 10^{12}$  Ом·см, усадка на испытываемых дисковых образцах – 0,2–0,8%.

**Органическое стекло** – продукт ненасыщенных полиэфирных смол, прозрачный полимер. Подразделяется на техническое, конструкционное, листовое, светотехническое и часовое.

*Техническое органическое стекло (ГОСТ 17622–72)* – пластифицированный и непластифицированный полимер (сополимер) метилового эфира метакриловой кислоты, широко применяемый в машиностроении. Стандартом предусмотрены три марки стекла:

ТОСП – стекло техническое органическое пластифицированное;

ТОСН – стекло техническое органическое непластифицированное;

ТОСС – стекло техническое органическое сополимерное.

В зависимости от толщины, состояния внешней поверхности и физико-механических свойств техническое органическое стекло выпускается первого и второго сортов бесцветным прозрачным, цветным прозрачным и цветным непрозрачным в виде листов прямоугольной формы.

Физико-механические свойства технического органического стекла: температура размягчения (в зависимости от толщины) – 92–130°C, ударная вязкость – 6–9 кДж/м<sup>2</sup> (6–9 кгс·см/см<sup>2</sup>), плотность при 20°C – 1,18–1,19 г/см<sup>3</sup>, светопрозрачность (при толщине до 30 мм) – 85–88%, усадка прогрева при 40°C в течение 1 ч – 3,5–4%, разрушающее напряжение при растяжении – 60–80 МПа (600–800 кгс/см<sup>2</sup>), относительное удлинение при разрыве – 2–2,5%.

*Конструкционное органическое стекло (ГОСТ 15809–70)* – пластифицированный и непластифицированный полимер метилового эфира метакриловой кислоты, применяемый в качестве конструкционного материала в приборо- и агрегатостроении, а также для изготовления изделий технического назначения в машиностроении и других отраслях промышленности. Стандартом предусмотрены три марки стекла:

СОЛ – стекло органическое пластифицированное;

СТ-1 – стекло органическое непластифицированное;

2-55 – стекло органическое сополимерное.

**Литьевой полиамид 610 (ГОСТ 10589–73)** – продукт поликонденсации соли гексаметилендиамина и себациновой кислоты (ранее назывался полиамид 68). Предназначен для изготовления литьем под давлением различных изделий конструкционного и электроизоляционного назначения. Изделия из полиамида 610, в том числе электроизоляционного назначения, работающие на низких и средних частотах, сохраняют свои механические свойства в интервале температур от –60 до +70°C (до +100°C при отсутствии механических нагрузок). Они стойки к действию углеводородов, органических растворителей, масел и щелочей, к солнечной радиации. Температура плавления полиамида 610 в пределах 215–221°C, вязкость – 130–190 мл/г, изгибающее напряжение – 45 МПа (450 кгс/см<sup>2</sup>), плотность – 1,09–1,11 г/см<sup>3</sup>, удельное объемное электрическое

сопротивление – не менее  $1 \cdot 10^{14}$  Ом·см, электрическая прочность – не менее 20 кВ/мм, твердость – 10–15 НВ, относительное удлинение – 100%, коэффициент трения по стали – 0,26–0,32, теплостойкость по Вика – 200–220°C, по Мартенсу – 55–60°C, усадка при литье под давлением – 0,8–1,5%. Полиамид 610 выпускается в виде гранул белого и светло-желтого цвета размером 3–5 мм.

**Литьевые сополимеры полиамида (ГОСТ 19459–74)** – продукты совместной поликонденсации соли АГ и капролактама при их соотношениях 93:7, 85:15 и 80:20. Эти соотношения отражены в обозначениях марок полиамида: АК–93/7, АК–85/15 и АК–80/20. Литьевые сополимеры полиамида стойки к действию углеводородов, органических растворителей, разбавленных масел и концентрированных растворов щелочей, растворяются в концентрированных минеральных кислотах, муравьиной и уксусной кислотах, в фенолах. Их физико–механические и технологические свойства: плотность – 1,13–1,14 г/см<sup>3</sup>, температура плавления – не ниже 212–238°C, твердость – 1000–1200 НВ, усадка при литье под давлением – 1,4–1,8%, разрушающее напряжение при растяжении – 60–70 МПа (600–700 кгс/см<sup>2</sup>), при сжатии – 70–120 МПа (700–1200 кгс/см<sup>2</sup>), при срезе – 55–60 МПа (550–600 кгс/см<sup>2</sup>), относительное удлинение – 80–300%, коэффициент трения по стали при скорости скольжения 3 м/мин и нагрузке 0,3 МПа (3 кгс/см<sup>2</sup>); – 0,22–0,25, теплостойкость по Мартенсу – 50–60°C, по Вика – 210–230°C, диэлектрическая проницаемость при 10<sup>6</sup> Гц после 24 ч пребывания в дистиллированной воде – 4–5, удельное поверхностное электрическое сопротивление (в исходном состоянии) –  $1 \cdot 10^{14}$ – $1 \cdot 10^{15}$  Ом.

Из литьевых сополимеров полиамида путем литья под давлением изготавливают различные изделия конструкционного назначения, применяемые в машиностроении, электротехнической промышленности, приборостроении и других отраслях народного хозяйства. Изделия эксплуатируются при температурах от –50 до +70°C.

**Стеклонаполненные полиамиды (ГОСТ 17648–72)** – полиамидная смола 68 (для П68С–30) или капроновая смола (для КПС–30 и КВС–30), наполненные стеклянными нитями (30% от массы) диаметром 10 мкм. В соответствии с назначением стандарт предусматривает следующие марки этих полиамидов:

П68С–30 (СП–68 – прежнее обозначение марки) – для изготовления деталей, обладающих повышенной теплостойкостью и вязкостью, для электротехнической и радиотехнической промышленности;

КПС–30 (КС–30П) – для изготовления деталей конструкционного назначения с повышенными механическими свойствами;

КВС–30 (КС–30В) – для изготовления изделий конструкционного назначения для текстильной и других отраслей промышленности.

Изделия получают литьем под давлением. Не допускается производство изделий из полиамидов марок КПС–30 и КВС–30, контактирующих с пищевыми продуктами.

В обозначениях марок приняты следующие сокращения: П68 – полиамидная смола 68, КП – первичная капроновая смола, КВ – вторичная капроновая смола, С – стекловолокно, 30 – содержание стекловолокна по массе (в процентах).

Основные физико–механические свойства стеклонаполненных полиамидов: температура плавления – 214–221°C, теплостойкость по Мартенсу – 170–200°C, усадка – 0,4–0,5%, водопоглощение за 24 ч – 0,25–1,5%, плотность – 1,28–1,38 г/см<sup>3</sup>, твердость – 1000 кг/см<sup>2</sup>, коэффициент трения по стали без смазки – 0,346, разрушающее напряжение при изгибе – 160–195 МПа (1600–1950 кгс/см<sup>2</sup>), при растяжении – 100–130 МПа (1000–1300 кгс/см<sup>2</sup>), относительное удлинение – 5–8%.

**Поливинилацетатная дисперсия гомополимерная грубодисперсная (ГОСТ 18992–73)** – продукт полимеризации винилацетата в водной среде в присутствии инициатора и защитного коллоида. Выпускается непластифицированной и пластифицированной. В зависимости от назначения подразделяется на следующие марки:

Д50Н, Д50С, ДБ48/4Н, ДБ48/4С, ДБ47/7С, ДБ48/4НМ, ДБ48/4СМ, ДБ47/7СМ, ДЦ48/4С, ДЦ47/7С, ДБ48/4НЛ, ДБ48/4СЛ – связующее водоземлюльсионных красок;

ДБ48/4С, ДБ47/7С, ДБ47/7В, ДБ48/4СМ, ДБ47/7СМ, ДБ47/7ВМ, ДБ51/7ВМ: ДБ53/4ВМ, ДБ47/7ВП – клеи, применяемые в переплетно–брошюровочном производстве;

Д50Н, Д50С, Д50В, ДБ48/4Н, ДБ48/4С, ДЦ48/4С, ДЦ47/7С, ДЦ47/7В, ДБ45/4Н, ДБ48/4НМ, ДБ48/4СМ – клеи, используемые для склеивания одежды, обуви и тары под пищевые продукты.

В обозначении марок первые две цифры соответствуют минимальному содержанию полимера (в процентах) в непластифицированной дисперсии и среднему содержанию – в пластифицированной дисперсии, последующие цифры указывают на среднее содержание пластификатора (в процентах). Буквенные индексы означают: Д – дисперсия, Б – дибутилфталат, Ц – дибутилсебацат, Н – низковязкая, С – средневязкая, В – высоковязкая, М – модифицированная, Л – лакокрасочная, П – полиграфическая.

**Полиэтилен высокого давления (ГОСТ 16337–77)** – продукт полимеризации этилена, получаемый при высоком давлении в трубчатых реакторах и реакторах с перемешивающим устройством с применением инициаторов радикального типа. Выпускается в виде гранул размером 2–5 мм. Это один из самых дешевых полимеров, обладающий высокими физико–механическими и технологическими свойствами. Он поддается всем видам переработки, свойственным термопластам, относительно прочен, пластичен, является хорошим диэлектриком, стоек к щелочам и кислотам (серной, соляной и плавиковой), но разрушается в азотной кислоте, хлоре и фторе. В зависимости от назначения стандарт предусматривает следующие базовые марки полиэтилена высокого давления:

10204–003, 10604–007, 10703–020, 10803–020, 10904–020, 11003–020, 11304–040, 11503–070, 15803–020, 16803–070, 17703–010, 18103–035, 18303–120 – для изготовления изделий, контактирующих с пищевыми продуктами;

11503–070, 16803–070, 18303–120 – для покрытия изделий, контактирующих с пищевыми продуктами;

10204–003, 10604–007, 10703–020, 10803–020, 10904–020, 11003–020, 11304–040, 11503–070, 15303–003, 15803–020, 16803–070, 17603–006, 17703–010, 18103–035, 18303–120 – для изготовления игрушек;

10204–003, 10703–020, 15303–003, 17603–006 – для производства труб и фитингов, предназначенных для хозяйственно–питьевого водоснабжения;

15803–020, 16803–070, 17603–006, 17703–010, 18103–035, 18303–120 – для изготовления изделий медицинского назначения;

10703–020, 10803–020, 10904–020, 11503–070, 11603–070, 15803–020, 16803–070, 17603–006, 17703–010, 18103–035, 18303–120 – для упаковки и укупорки лекарственных средств;

15803–020, 16803–070, 17603–006, 17703–010, 18103–035, 18303–120 – для изготовления изделий, контактирующих с живыми тканями (внутреннее протезирование).

Изделия из полиэтилена высокого давления получают прессованием, экструзией, литьем, выдуванием, ротационным формованием, спеканием, напылением, забивкой, обработкой резанием и сваркой.

**Полиэтилен низкого давления (ГОСТ 16338–77)** – продукт полимеризации этилена, получаемый при низком давлении с использованием комплексных металло–органических катализаторов.

Базовые марки полиэтилена: 20108–001, 20208–002, 20308–005, 20408–007, 20508–007, 20608–012, 20708–016, 20808–024, 20908–040, 21008–075.

Цифра 2 указывает на то, что процесс полимеризации этилена протекает при низком давлении с использованием комплексных металлоорганических катализаторов, две последующие цифры означают порядковый номер базовой марки, четвертая цифра соответствует степени гомогенизации полиэтилена, ноль означает, что полиэтилен подвергается усреднению холодным смешением, пятая цифра определяет группу плотности полиэтилена – от 0,931 до 0,970 г/см<sup>3</sup>. Физико–механические свойства и назначения полиэтилена низкого давления нормируются ГОСТ 16338–77. Отходы производства полиэтилена и отработанные изделия из него используются для повторной переработки.

**Полистирол общего назначения (ГОСТ 20282–74)** – продукт полимеризации стирола блочным, суспензионным или эмульсионным методами. Выпускается в виде порошка или гранул окрашенным и неокрашенным. Марки полистирола: ПСЭ–1 (эмульсионный) – для получения пенопластов; ПСЭ–2 – для производства продукции технического назначения; ПСМД (блочный) – для производства электроизоляционных изделий и продукции технического назначения; ПСМ – для производства продукции технического назначения и изделий бытового назначения; ПСС и ПССП (суспензионный пластифицированный) – для производства продукции технического назначения и изделий бытового назначения. В обозначениях марок приняты следующие сокращения: ПС – полистирол; Э, М и С – соответственно эмульсионный, блочный и суспензионный методы получения.

**Сополимеры стирола (ГОСТ 12271–76)** – двухкомпонентные и трехкомпонентные сополимеры с акрилатами, предназначенные для изготовления изделий технического и бытового назначения методом литья под давлением. Выпускаются в виде гранул размером 3×5 мм окрашенными и неокрашенными.

Марки сополимеров стирола:

МС – продукт сополимеризации стирола с метилметакрилатом; предназначен для изготовления изделий светотехнического назначения;

МСН, МСН–Л – продукт сополимеризации стирола с метилметакрилатом и нитрилом акриловой кислоты; предназначен для изготовления изделий для автомобильной, радиотехнической и приборостроительной промышленности.

Сополимер стирола марки МСН–Л имеет высокие показатели текучести расплава. Из него изготавливают крупногабаритные и тонкостенные изделия. Физико–механические и другие показатели сополимеров стирола, а также красители для них нормируются стандартом.

**Ударопрочный полистирол** – продукт сополимеризации стирола с каучуком или другим пластификатором, обладающий более высокими механическими свойствами, чем полистирол общего назначения. Из ударопрочного полистирола и акрилонитрилбутадиенстирольного пластика (ГОСТ 19784–74) методом непрерывной шнековой экструзии изготавливаются листы. Температура эксплуатации листов, не испытывающих механических нагрузок (облицовка и др.), – от –40°С до +60°С.

В зависимости от степени вытяжки при формовании выпускаются листы двух типов: первые предназначены для производства крупногабаритных пластмассовых изделий с глубокой вытяжкой (внутренние шкафы холодильников, ванны, смесители); вторые – для изготовления изделий с небольшой вытяжкой, а также для использования в качестве облицовочного и подложного материала. Листы из ударопрочного полистирола имеют марку А, из акрилонитрилбутадиенстирольного пластика – марку Б. Размеры листов: длина 700–1500 мм, ширина 700–1450 мм, толщина 1,4–6 мм. Физико–механические свойства листов зависят от типа, марки и температуры, при которой проводятся испытания: ударная вязкость в направлении экструзии при 20°С – 29400–49000 Дж/м<sup>2</sup> (30–50 кгс–см/см<sup>2</sup>), разрушающее напряжение при растяжении вдоль экструзии – 18–40 МПа (180–400 кгс/см<sup>2</sup>), относительное удлинение – 10–35%, усадка (в зависимости от толщины листа) 6–15%.

**Фторопласт–4 (ГОСТ 10007–80)** – продукт полимеризации тетрафторэтилена. Выпускается в виде белого легкомоющегося порошка или пластин. Предназначен для изготовления различных изделий и пленок с высокими диэлектрическими свойствами, стойких к действию сильно агрессивных сред и работающих при температурах до 260°С. В зависимости от назначения подразделяется на следующие марки:

С – для изготовления специальных изделий;

П – для изготовления электроизоляционной и конденсаторной пленок;

ПН – для производства электротехнических изделий и других изделий с повышенной надежностью;

О – для производства изделий общего назначения и получения композиций;

Т – для изготовления толстостенных изделий и трубопроводов.

Плотность фторопласта–4 – 2,19–2,21 г/см<sup>3</sup>, разрушающее напряжение при растяжении незакаленного образца – 15–26 МПа (150–260 кгс/см<sup>2</sup>), относительное удлинение незакаленного образца – 250–350 %, термостабильность – не менее 100 ч (фторопласт–4Т – 15 ч), удельное объемное электрическое сопротивление при постоянном напряжении – не менее 1·10<sup>17</sup> Ом·см. При температурах до 260°С фторопласт–4 невзрывоопасен, негорюч и не оказывает вредного влияния на организм человека. При нагревании выше 260°С он может выделять летучие продукты термоокислительной деструкции, содержащие фтористый водород, перфторизо–бутилен и окись углерода, которые оказывают вредное влияние на организм человека. В таких случаях необходимо соблюдать правила техники безопасности (помещение должно быть обеспечено вентиляцией и техническими средствами контроля состояния воздушной среды). Стандарт предусматривает предельно допустимые концентрации в воздухе рабочей зоны производственных помещений: фтористого водорода – 0,5 мг/м<sup>3</sup>; перфторизобутилена – 0,1 мг/м<sup>3</sup>; окиси углерода – 20 мг/м<sup>3</sup> и аэрозоля фторопласта – 4 – 10 мг/м<sup>3</sup>.

**Целлулоид (ГОСТ 21228–75)** – пластмасса на основе нитрата целлюлозы (коллоксилина) с добавлением пластификаторов, наполнителей и красителей. Прочный прозрачный и водостойкий материал. Перерабатывают методами горячей штамповки, прессования и механической обработки. Выпускается в виде листов прямоугольной формы длиной 1300 мм, шириной 550 мм и толщиной 0,3–5 мм первого и второго сортов. В зависимости от внешнего вида подразделяется на следующие марки: А – прозрачный или белый однотонный; Б – прозрачный и прозрачный окрашенный однотонный; В – узорчатый под перламутр, бронзу, черепаха и др. Целлулоид марки А применяется для производства изделий технического назначения, целлулоид марок Б и В – для изготовления галантерейных изделий, оправ очков, игрушек, для отделки музыкальных

инструментов. Физико–механические свойства целлулоида: плотность – 1,4 г/см<sup>3</sup>, усадка – до 2%, разрушающее напряжение для листов толщиной 0,3–1,5 мм – 38–45 МПа (380–450 кгс/см<sup>2</sup>), относительное удлинение для листов толщиной 0,3–1,5 мм – 15–18%. Температура воспламенения – 100°С, самовоспламенения – 140°С, самонагрева – 50°С. Целлулоид нетоксичный материал, но при его горении выделяется большое количество токсичных газов (окись углерода, окислы азота и цианистые соединения). Он пожароопасен (по пожароопасности относится к категории В, класс ПУЭ П–Па), легко загорается от открытого пламени, склонен к тепловому и химическому самовозгоранию, при нагревании до 80°С загорается от искры, поэтому при использовании его следует соблюдать правила противопожарной безопасности.

## 5.12. КЛЕЕВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ

Соединение деталей с применением клея предназначено для создания неразъемных соединений составных частей изделия. Действие клея основано на образовании межмолекулярных связей между клеевой пленкой и поверхностями склеиваемых материалов деталей.

Существует большое разнообразие *конструкционных* клеев, отличающихся физико–механическими свойствами и технологией их применения. Наибольшее применение в машиностроении и приборостроении имеют органические клеи на основе синтетических полимеров, например *универсальные клеи* БФ, технические условия на которые стандартизованы, и *эпоксидные клеи* с наполнителем и без наполнителя. При необходимости повышенной теплостойкости (до 1000°С) применяют элементоорганические клеи, обладающие сравнительно меньшей эластичностью. Клеи не являются проводниками, поэтому при необходимости обеспечить электропроводность в них добавляют порошкообразное серебро.

Свойства и назначение марок клея для создания неразъемных соединений из металлических и неметаллических конструкционных материалов приведены в табл. 5.54, 5.55.

Таблица 5.54

Свойства и назначение синтетических клеев

| Марка                    | Прочность при 20 °С |             | Склеиваемые материалы, свойства клея   |
|--------------------------|---------------------|-------------|--|
|                          | на сдвиг, МПа       | на отрыв    |  |
| <i>Фенольные</i>         |                     |             |  |
| БФ– 2, БФ– 4             | 30                  | 280         | Металлы, текстолит, аминокласты, стекло, древесина, фибра, фарфор, кожа; вибростоек  |
| БФ– 6                    | –                   | –           | Ткани, резина, войлок между собой и для приклеивания его к металлам  |
| ВК– 32– 200              | 15                  | 320         | Дуралюмин, стали, текстолиты, пенопласты   |
| ВС– 350                  | 18                  | –           |  |
| ВС– 10Т                  | 18                  | 320         | Металлы, стеклотекстолиты и текстолиты   |
| БС– 10М                  | 20                  | 320         |  |
| КР– 4                    | –                   | –           | Пластмассы, древесина, текстильные материалы   |
| КБ– 3                    | –                   | –           |  |
| <i>Бакелитовые</i>       |                     |             |  |
| СБС– 2                   | –                   | –           | Пластмассы, тонкие древесные, бумажные и текстильные материалы   |
| <i>Эпоксидные</i>        |                     |             |  |
| ЭД– 5,<br>ЭД– 6          | –<br>–              | –<br>–      | Металлы, винилпласт, оргстекло, фарфор, керамика, древесина, пластмассы; приклеивание вулканизированной резины к металлам  |
| ВК– 32– ЭМ               | 25                  | 200         | Стали, дуралюминий, между собой и с пенопластами. Стоек в различных климатических условиях   |
| ВК– 7                    | 7,5                 | –           | Стали, алюминиевые и титановые сплавы, работающие при температуре от –60 до +250 °С  |
| Л– 4                     | 4,0                 | –           | Металлы между собой и со стеклопластиковыми в узлах несилевого назначения  |
| <i>Полиамидные</i>       |                     |             |  |
| ПФЭ– 2/10                | 6,0                 | 600         | Металлы, текстолит, древесина, капроновое волокно, полиамидные пленки, кожи  |
| ПК– 5                    | 15                  | –           | Полиамидная пленка   |
| МПФ– 1                   | 17                  | 650         | Металлы и неметаллические материалы. Эластичен; обладает длительной прочностью   |
| <i>Карбамидные</i>       |                     |             |  |
| КМ– 3<br>К– 17<br>КМ– 12 | –<br>14<br>–        | –<br>–<br>– | Пластмассы, древесина, бумага, текстильные материалы; вибростоек   |
| <i>Полиуретановые</i>    |                     |             |  |
| ПУ– 2                    | 14                  | –           | Стали, алюминиевые сплавы между собой и с неметаллическими материалами. Обладает длительной прочностью и выносливостью, стоек в различных климатических условиях |
| ВК– 5                    | 7,5                 | –           | Стали, алюминиевые и титановые сплавы между собой и с неметаллическими материалами, работающие при ±60 °С в течение 1000 ч; вибростоек                           |

| <i>Перхлорвиниловые</i>                |    |     |  |
|--|----|-----|--|
| Д-10;<br>М-10                          | –  | –   | Поливиниловые пластики между собой и с металлами   |
| «Лейкопат» Б-10                        | –  | 400 | Невулканизованная резина с металлами   |
| ХВК-2а                                 | –  | –   | Винипласт, ткани и пластики с металлами  |
| <i>Глифталевые</i>                     |    |     |  |
| АМК                                    | –  | 750 | Стекло, теплоизоляция с металлами  |
| ИП-9                                   | –  | –   | Силиконовые резины с металлами   |
| <i>Металлические</i>                   |    |     |  |
| Мелкадин                               | –  | –   | Металлы, керамика, органические полимеры и др.; электропроводен, выдерживает нагрев до 700–800 °С                  |
| <i>Фосфатные</i>                       |    |     |  |
| Алюмофосфатный                         | –  | –   | Стекло, ситалл, керамика, металлы (никель, молибден, вольфрам, титан, тантал, констант), работающие при –60÷1400°С |
| <i>Цианакриловые</i>                   |    |     |  |
| Циакрин                                | 14 | –   | Различные материалы  |
| <i>Эпоксидно-фурфурольно-ацетатные</i> |    |     |  |
| БОВ-1<br>БОВ-2<br>БОВ-3                | –  | –   | Металлы и пластмассы, химически стойкие, теплостойкие  |

Таблица 5.55

## Рекомендуемые марки клея для склеивания различных материалов и минимальная рабочая температура, °С

| Марка                      | Материалы                |            |            |              |              |           |           |                |                  |           |                  |            |                                |
|----------------------------|--------------------------|------------|------------|--------------|--------------|-----------|-----------|----------------|------------------|-----------|------------------|------------|--------------------------------|
|                            | пластмассы<br>порошковые | винипласты | полиэтилен | фторопласт-4 | полипропилен | оргстекло | целлулоид | древесные мат. | полистирол блоч. | текстолит | стеклотекстолиты | пенопласты | теплоизоляционные<br>материалы |
| АМК                        |                          |            |            |              |              |           |           |                |                  |           |                  |            | 150                            |
| БФ-2 * <sup>1</sup>        | 60                       |            |            | 60           |              |           |           |                |                  | 60        | 60               |            |                                |
| БФ-4 * <sup>1</sup>        |                          |            |            |              |              |           |           | 60             |                  |           |                  |            |                                |
| В-107                      |                          |            |            |              |              |           |           |                |                  |           |                  |            |                                |
| ВИАМ-19                    | 80                       |            |            |              |              |           |           | 60             |                  | 80        |                  | 80         | 80                             |
| В-31-Ф9                    | 80                       |            | 60         |              | 80           | 150       |           | 60             |                  | 80        |                  | 100        | 100                            |
| ВК-32-2                    |                          |            |            |              |              |           |           |                |                  |           |                  |            | 200                            |
| ВК-32-200                  | 200                      |            |            | 200          |              |           |           |                |                  | 100       | 200              |            |                                |
| ВК-32-ЭМ * <sup>1</sup>    | 80                       |            |            |              |              |           |           |                |                  | 80        | 80               | 80         |                                |
| ВКТ-2, ВКТ-3               |                          |            |            |              |              |           |           |                |                  |           |                  |            | 400                            |
| ВС-10М * <sup>1</sup>      | 150                      |            |            |              |              |           |           |                |                  | 100       | 150              |            |                                |
| ВС-10Г * <sup>1</sup>      | 150                      |            |            | 150          |              |           |           |                |                  | 150       | 150              |            |                                |
| БС-350 * <sup>1</sup>      | 250                      |            |            | 250          |              |           |           |                |                  | 100       | 300              |            |                                |
| Карбонильные* <sup>1</sup> | 60                       |            |            | 20           |              |           |           |                |                  | 60        |                  |            |                                |
| К-17* <sup>1</sup>         |                          |            |            |              |              |           |           | 60             |                  |           |                  |            |                                |
| К-32-70 * <sup>1</sup>     |                          |            |            |              |              | 100       |           |                |                  |           |                  |            |                                |
| К-153 * <sup>1</sup>       | 80                       |            |            | 80           |              |           | 80        | 60             |                  | 80        | 80               | 120        | 80                             |
| Л-4* <sup>1</sup>          | 80                       |            |            |              |              |           |           | 60             |                  | 80        | 80               | 80         |                                |
| ПВ-16                      |                          |            |            |              |              | 60        |           |                |                  |           |                  |            |                                |
| ПК-5 * <sup>1</sup>        | 60                       |            |            | 60           |              |           |           |                |                  |           |                  |            |                                |
| ПУ-2 * <sup>1</sup>        | 80                       | 60         | 60         | 80           | 80           | 150       | 80        | 60             | 60               | 80        | 80               | 120        |                                |
| ПУ-2М* <sup>1</sup>        | 80                       | 60         | 60         | 80           | 60           |           | 80        | 60             | 60               | 80        |                  | 80         | 100                            |
| № 88                       |                          |            |            |              |              |           |           |                |                  |           |                  |            | 80                             |

*Примечание.* Склеивание полиэтилена, полипропилена, фторопласта-4 возможно только по обработанной химическим или другим способом поверхности материала.

\*<sup>1</sup> Клей пригодны для склеивания металлов с указанными в таблице материалами, если температурный режим склеивания не превышает рабочую температуру материала.

## 5.13. ЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ

Покрытия наносят на изделия из различных материалов для защиты от коррозии, придания изделиям декоративного вида, создания специальных поверхностных свойств (электропроводности, теплопроводности, электроизоляционных магнитных и немагнитных свойств, светоотражающей или поглощающей способности, износостойкости и др.).

Покрытия могут быть металлическими и неметаллическими неорганическими (оксидные, фосфатные, фторидные и др.), пластмассовыми, резиновыми, лакокрасочными.



При выборе покрытий необходимо учитывать их назначение, условия эксплуатации, материал детали, свойства и характеристику покрытий, способ нанесения покрытий, допустимость и недопустимость контактов сопрягаемых материалов.

Условия эксплуатации металлических и неметаллических органических покрытий делят на группы: легкие Л; средние С; жесткие Ж; очень жесткие ОЖ. Характеристики условий эксплуатации приведены в ГОСТ 9.306–85. Эти покрытия классифицируют по способу получения, материалу, физико-механическим и декоративным свойствам (табл. 5.56–5.59).

Защитные свойства покрытий зависят от возможности взаимодействия материалов покрытия и детали. Основные свойства металлических и неметаллических неорганических покрытий и их назначение приведены в табл. 5.59–5.61, технология нанесения покрытий и методы контроля качества – в ГОСТ 16976–71.

Т а б л и ц а 5.56

Обозначение способов нанесения покрытий

| Способ получения покрытия | Обозначение | Способ получения покрытия | Обозначение |
|---------------------------|-------------|---------------------------|-------------|
| Катодное восстановление   | –           | Металлизационный          | Мет         |
| Химический                | Хим         | Конденсационный           | Кон         |
| Анодное окисление         | АН          | Контактный                | Кт          |
| Горячий                   | Гор         | Вжигание                  | Вж          |
| Диффузионный              | Диф         | Катодное распыление       | Кр          |

Т а б л и ц а 5.57

Обозначение металлических покрытий

| Материал покрытия         | Обозначение * | Материал покрытия  | Обозначение * |
|---------------------------|---------------|--------------------|---------------|
| Железо                    | Ж             | Серебро            | Ср            |
| Золото                    | Зл            | Серебро – сурьма   | Ср–Су         |
| Золото – серебро          | Зл–Ср         | Серебро – палладий | Ср–Пд         |
| Золото – сурьма           | Зл–Су         | Хром               | Х             |
| Индий                     | Ин            | Цинк               | Ц             |
| Кадмий                    | Кд            | Платина            | Пл            |
| Кобальт                   | Ко            | Палладий           | Пд            |
| Медь                      | М             | Родий              | Рд            |
| Медь – олово              | М–О           | Рутений            | Ру            |
| Медь – олово – цинк *     | М–О–Ц         | Свинец             | С             |
| Медь – цинк               | М–Ц           | Титан              | Ти            |
| Никель                    | Н             | Никель – вольфрам  | Н–В           |
| Никель – кобальт – фосфор | Н–Ко–Ф        | Цинк – никель      | Ц–Н           |
| Олово                     | О             | Оксиды             | Окс           |
| Олово – висмут            | О–Ви          | Фосфаты            | Фос           |
| Олово – кобальт           | О–Ко          | Алюминий           | А             |
| Олово – свинец            | О–С           | Золото – платина   | Зл–Пл         |
| Олово – цинк              | О–Ц           | Алюминий – цинк    | А–Ц           |
| Олово – никель            | О–Н           | Рений              | Ре            |

\* В обозначение покрытий, состоящих из сплава, включают максимальное процентное содержание первого или первого и второго компонентов сплава (в случае трехкомпонентного сплава). Например, медно-оловянно-свинцовое покрытие с массовой долей меди 70–78 % ; олова 10–18 % и свинца 4–20 % обозначают М – О – С (78; 18).

Т а б л и ц а 5.58

Обозначение признаков, характеризующих физико-механические свойства покрытий

| Признак покрытия    | Обозначение |
|---------------------|-------------|
| Твердое             | ТВ          |
| Электропроводное    | Э           |
| Электроизоляционное | ЭИЗ         |

Т а б л и ц а 5.59

Обозначение видов дополнительной обработки покрытий

| Вид дополнительной обработки покрытия | Обозначение | Вид дополнительной обработки покрытия | Обозначение |
|---------------------------------------|-------------|---------------------------------------|-------------|
| Фосфатирование                        | фос         | Гидрофобизирование                    | гфз         |
| Хроматирование                        | хр          | Пропитка маслом                       | прм         |
| Оксидирование                         | окс         | Наполнение в воде                     | нв          |
| Оплавление                            | опл         | Нанесение                             | лкп         |
| Пропитка                              | прп         | лакокрашеного покрытия                |             |

Т а б л и ц а 5.60

Свойства и назначение металлических покрытий

| Покрытие | Способ получения                       | Свойства покрытий   | Назначение  |
|----------|--|---|---|
| Цинковое | Диф, Мет, Гор, катодное восстановление | 45–50 НВ; интервал рабочих температур –70÷250 °С; обладают хорошим сцеплением с деталью; хорошо работают на изгиб; низкая износостойкость | Защита от коррозии стали, чугуна, меди и ее сплавов |

|                           |  |   |  |
|---------------------------|--|---|--|
| Кадмиевое                 | Катодное восстановление                | 12–40 НВ; интервал рабочих температур $\pm 60^\circ\text{C}$ ; обладают высокой пластичностью, хорошо паяются, выдерживают изгиб, развальцовку, вытяжку, хорошо притираются, устойчивы в морской среде, щелочных растворах, неустойчивы в среде сернистых газов, масел, бензина       | Защита от коррозии, в том числе в морских условиях; для обеспечения притирочных свойств деталям при сборке   |
| Никелевое                 | Хим, катодное восстановление           | 150–600 НВ; легко полируются; коррозионно-стойкие при температурах до $+650^\circ\text{C}$  | Защита от коррозии пружин, корпусов и других деталей; декоративная отделка; придание поверхностной твердости, получение светоотражающей или светопоглощающей (черный никель) поверхности. Придание магнитных свойств (Н–Ко)                                |
| Хромовое                  | Диф, катодное восстановление           | 750–110 НВ; химически стойкие, за исключением среды соляной кислоты, галогеноводородных соединений, устойчивы в условиях тропического климата   | Защита от коррозии, декоративная отделка, увеличение твердости деталей, работающих на трение; получение светопоглощающей (черной) или светоотражающей поверхности. Обеспечение способности к пайке, электропроводности, экранирование от магнитного потока |
| Медное                    | Хим, Мет, Вж, катодное восстановление  | 60–150 НВ; электрическое сопротивление при $18^\circ\text{C}$ равно $1,682 \cdot 10^{-6}$ Ом-см; обладают высокой прочностью сцепления, эластичностью, выдерживают глубокую вытяжку, развальцовку, хорошо паяются, полируются, быстро окисляются                                      | Защита при азотировании, гуммировании, защита от коррозии, обеспечение способности к пайке (О–Вп); декор. отделка (О–Н)  |
| Оловянное и его сплавами  | Хим, Гор, Мет, катодное восстановление | 15–20 НВ; эластичны; устойчивы к сероводороду, органическим кислотам, воздействию тропического климата; выдерживают изгибы, вытяжку, развальцовку   | Улучшение электропроводности, износостойкости (Ср–Су, Ср–П); обеспечение отражательной способности   |
| Серебряное и его сплавами | Хим, Вж, катодное восстановление       | 50–150 НВ; электрическое сопротивление при $18^\circ\text{C}$ равно $1,5 \cdot 10^{-6}$ Ом-см; отражательная способность свежего покрытия 90–95%; хорошо паяются; износостойкость пониженная; у сплавов Ср–Су твердость до 22 НВ; тускнеют и темнеют в атмосфере серы, хлора, аммиака | Снижение переходного сопротивления контактов; повышение их износостойкости   |
| Золотом и его сплавами    | Хим, катодное восстановление           | 40–100 НВ; электрическое сопротивление при $18^\circ\text{C}$ равно $2,213 \cdot 10^{-6}$ Ом-см; обладают высокой теплопроводностью, хорошо обеспечивают сварку. Сплавы Зл–Ср, Зл–Н, Зл–К износостойки и обладают твердостью НВ до 200  | Обеспечение электропроводности, снижение износостойкости контактов   |
| Палладиевое               | То же                                  | 200–350 НВ; электрическое сопротивление при $18^\circ\text{C}$ равно $10,8 \cdot 10^{-6}$ Ом-см; в контакте с пластмассами на покрытии образуются темные пленки, увеличивающие переходное сопротивление   | Повышение электропроводности, износостойкости, отражательной способности   |
| Родиевое                  | »                                      | 400–800 НВ; отражательная способность 73–75%; покрытия стойки к кислотам, щелочам   |  |

Таблица 5.61

## Свойства и назначение неорганических неметаллических покрытий

| Покрытие                           | Материал деталей  | Свойства  | Назначение  |
|------------------------------------|---|---|---|
| Оксидное                           | Сталь, медь и ее сплавы, магнелиевые сплавы                                     | Защитные свойства невысокие, повышаются при обработке покрытий маслами, лаками, гидрофобизирующими жидкостями   | Межоперационное хранение; декоративная отделка и защита от коррозии (медь, магний и их сплавы)  |
| Окисно-фторидное; окисно-фосфатное | Алюминий и его сплавы   | Обладают эластичностью, хорошей адгезией с металлом; окисно-фосфатное покрытие неэлектропроводно, является хорошим грунтом под окраску  | Декоративная отделка и защита от коррозии   |
| Хроматно-фторидное                 | То же   | Обладают токопроводящими свойствами, стабильностью переходного сопротивления, являются хорошим грунтом под окраску, механически непрочны  | Обеспечение стабильного переходного сопротивления   |
| Фосфатное                          | Стали   | Обладают высоким электрическим сопротивлением, термостойкостью до $+300^\circ\text{C}$ , не подвергаются пайке и сварке; защитные способности появляются после дополнительной обработки маслами, лаками   | Защита от коррозии, создание непроводящего поверхностного слоя  |
| Пассивное                          | Стали, медь и ее сплавы   | Для повышения коррозионной стойкости применяют дополнительную пропитку маслами, лаками  | Защита от коррозии  |
| Окисное анодизационное             | Алюминий и его сплавы; медь и ее сплавы, магнелиевые сплавы, титан и его сплавы | Твердость покрытия на алюминии и его сплавах 28–44 НВ, электроизоляционные покрытия имеют пробивное напряжение до 600 В; электрическая прочность возрастает при пропитке покрытия лаками; эмалевые пленки на алюминии и окисные на титане обладают износостойкими свойствами. | Защита от коррозии, придание электроизоляционных свойств; получение светопоглощающей поверхности (медь), защита от задигов при трении (титан), грунты под окраску |

## Пластмассовые и резиновые покрытия

| Материал   | Толщина покрытия, мм | Грунт под покрытие | Температура нагрева °С, в зависимости от метода нанесения покрытия |     |     | δ, % | Рабочая температура, °С | Покрытие стойкое в среде |   |   |   |   | Поверхности детали |   |   |   |   |
|--|----------------------|--------------------|--|-----|-----|------|-------------------------|--------------------------|---|---|---|---|--------------------|---|---|---|---|
|  |                      |                    | Н  | П   | СВ  |      |                         | к                        | щ | о | б | с | в                  | н | д | т |   |
| Полиэтилен ВД                                    | 0,1–1                |                    |  | 240 |     | 200  | –50÷100                 | +                        | + | – | + | + | +                  | + | + | + | – |
| Полиэтилен НД                                    | 0,1–1                | –                  | 280  | –   | 220 | 200  | –50÷100                 | +                        | + | – | + | + | +                  | + | + | + | – |
| Полиизобутилен ПГС                               | 0,5–2                | Клей 88–Н          | –  | 20  | –   | 200  | –40÷80                  | +                        | + | – | – | + | +                  | – | – | – | – |
| Полипропилен                                     | 0,1–1                | –                  | 250  | –   | –   | 200  | –40÷150                 | +                        | + | – | + | + | +                  | + | + | + | – |
| Винилпласт                                       | 0,3–1                | хгс                | –  | 170 | –   | 15   | –30÷70                  | +                        | + | + | + | + | +                  | + | – | – | – |
| Поливинилхлоридная паста                         | 0,1–1                | –                  | –  | –   | 160 | 100  | –30÷70                  | +                        | + | + | + | + | +                  | + | + | + | + |
| Фторопласт–4Д, 4ДП                               | 0,05                 | –                  | –  | –   | 370 | 75   | –200÷250                | +                        | + | + | + | + | +                  | + | + | – | + |
| Фторопласт–3, 3М                                 | 0,15                 | –                  | –  | –   | 330 | 75   | –100÷120                | +                        | + | + | + | + | +                  | + | + | – | + |
| Масса на основе поливинилбутираля ПНФ–12, ТПФ–37 | 0,1–1                | –                  | 320  | –   | 240 | 50   | –40÷120                 | +                        | + | – | + | – | –                  | + | + | + | + |
| Капрон полиамид П–68 полиамид П–АК–7             | 0,1–1                | –                  | 260–300  | –   | 220 | 30   | –40÷120                 | –                        | + | – | + | + | +                  | + | + | + | + |
| Эпоксидная смола с стекловолокном                | 0,5–2                | –                  | 20   | –   | –   | 10   | –40÷100                 | +                        | + | – | + | + | +                  | + | + | – | – |
| Сырая резина на каучуках                         |                      |                    |  |     |     |      |                         |                          |   |   |   |   |                    |   |   |   |   |
| СКВ, СКС   | 0,5–2                | Клей лейконат      | –  | –   | 150 | 200  | –40÷90                  | +                        | + | – | – | + | +                  | + | – | – | + |
| СКН–40   | 0,5–2                | То же              | –  | –   | 150 | 200  | –40÷90                  | +                        | + | + | + | + | +                  | + | – | – | + |
| Жидкий найрит                                    | 0,5–2                | –                  | 20   | –   | –   | 200  | –40÷90                  | +                        | + | + | + | + | +                  | + | + | – | – |

Условные обозначения:  
1. Знак «+» означает пригодность, знак «–» – непригодность покрытия для данных материалов и условий.  
2. Материал детали: М – металл;  
3. Метод нанесения покрытия: Н – напыление; П – плакирование; СВ – спекание или вулканизация.  
4. Среда: к – кислота; щ – щелочь; о – окислители; б – бензин; с – спирт.  
5. Поверхности детали: в – внутренние; н – наружные; д – декоративные; т – трущиеся.

**Лакокрасочные материалы** – многокомпонентные составы, способные при нанесении тонким слоем на поверхность изделий высыхать с образованием тонкой пленки, удерживаемой силами адгезии. Применяют для получения защитных, декоративных и электроизоляционных покрытий на различных изделиях (табл. 5.64).

Обозначения лакокрасочных материалов в зависимости от наименования смол, эфиров, целлюлозы и масел, входящих в состав пленкообразующих веществ, приведены в табл. 5.65, а классификация покрытий по внешнему виду в табл. 5.66.

По составу и назначению лакокрасочные материалы подразделяют на лаки, грунтовки, шпатлевки, краски, в том числе эмали (табл. 5.65).

Таблица 5.63

## Условные обозначения групп лакокрасочных материалов по назначению (ГОСТ 9825–73)

| Группа  | Обозначение | Группа              | Обозначение |
|---|-------------|---------------------|-------------|
| Атмосферостойкие  | 1           | Маслобензостойкие   | 6           |
| Ограниченно атмосферостойкие (под навесом и внутри помещений) | 2           | Химически стойкие   | 7           |
|   |             | Термостойкие        | 8           |
| Водостойкие   | 4           | Электроизоляционные | 9           |
| Специальные   | 5           | Консервационные     | 3           |

Таблица 5.64

## Классификация лакокрасочных материалов по составу пленкообразователя (ГОСТ 9825–73)

| Наименование*                | Обозначение | Наименование*         | Обозначение |
|------------------------------|-------------|-----------------------|-------------|
| Канифольные                  | КФ          | Меламинные            | МЛ          |
| Битумные                     | БТ          | Мочевинные            | МЧ          |
| Глифталевые                  | ГФ          | Фенолалкидные         | ФА          |
| Фенольные                    | ФЛ          | Эпоксидные            | ЭП          |
| Полиэфирные ненасыщенные     | ПЭ          | Эпоксифирные          | ЭФ          |
| Алкидно– и масляностирольные | МС          | Дивинилацетиленовые   | ВН          |
| Полиуретановые               | УР          | Поливинилацетиленовые | ВЛ          |
| Полиакриловые                | АК          | Масляные              | МА          |
| Сополимерно–акриловые        | АС          | Кремнийорганические   | КО          |
| Нитроцеллюлозные             | НЦ          | Полиамидные           | АД          |
| Этилцеллюлозные              | ЭЦ          | Пентафталевые         | ПФ          |
| Перхлорвиниловые             | МВ          | Фторопластовые        | ФП          |
| Сополимерно–винилхлоридные   | ХС          |                       |             |

*Примечание.* \*Приведены наименования смол, эфиров, целлюлозы, масел.

В обозначение марки лакокрасочного материала входят буквенное обозначение группы (табл. 5.65) и несколько цифр, первая из которых указывает назначение материала, а остальные составляют порядковый номер регистрации материала. Например: Эмаль ХВ-16 – перхлорвиниловая эмаль (ХВ), атмосферостойкая 1, регистрационный номер 6; грунтовка ГФ-020 – глифталевая ГФ грунтовка 0, регистрационный номер 20.

В обозначении покрытий на изделии указывают дополнительно условия эксплуатации (ГОСТ 9.104–79) и требования к внешнему виду покрытия (табл. 5.66).

Т а б л и ц а 5.65

## Свойства и назначение грунтовок и шпатлевок

| Наименование, марка (ГОСТ, ТУ)  | Цвет*  | Режим сушки |              | Свойства и назначение   |
|---|--------|-------------|--------------|---|
|   |        | °С          | длительность |   |
| <i>Грунтовки</i>  |        |             |              |   |
| Сополимеры винилхлорида:<br>ХС-010 (ГОСТ 9355–81)   | К-К    | 18–23<br>60 | 1 ч<br>0,5 ч | Наносят на черные металлы, медь и ее сплавы, под перхлорвиниловые и сополимерные эмали в комплексе химически стойких, атмосферостойких, масло- и бензостойких покрытий. Фосфатирование  |
| ХС-059 (ГОСТ 23494–79)  | К-К    | 18–23       | 24 ч         | Наносят на черные металлы, алюминий и его сплавы под сополимерные и перхлорвиниловые эмали в комплексе химически стойких и атмосферостойких покрытий  |
| Глифталевая<br>ГФ-0119 (ГОСТ 23343–78)  | К-К    | 18–23       | 12 ч         | Наносят на черные металлы, медь и ее сплавы под различные эмали; обладают удовлетворительной противокоррозионной стойкостью, маслостойкостью  |
|   |        | 100–110     | 35 мин       |   |
| Фенольно-формальдегидные<br>ФЛ-03К, ФЛ-03Ж<br>(ГОСТ 9109–81)  | К-К    | 10–23       | 12 ч         | Наносят под различные эмали; обладают повышенной противокоррозионной стойкостью; ФЛ-03К наносят на черные металлы, медь и ее сплавы, припой; ФЛ-03Ж наносят на коррозионностойкие стали, алюминий   |
|   |        | 100–110     | 35 мин       |   |
|   |        | 175         | 15 мин       |   |
| Масляные: КФ-030<br>(МРТУ 10–698–67)  | Ж      | 18–23       | 40 ч         | Наносят на алюминий и его сплавы в комплексе атмосферостойких покрытий; КФ-030 – под масляные, глифталевые, пентафталевые, меламинные, мочевиные, фенольные кремнийорганические покрытия; ЛФ-086 – под перхлорвиниловые, нитроцеллюлозные, масляные, глифталевые, пентафталевые, меламинные и мочевиные эмали |
|   |        | 70–80       | 4 ч          |   |
| ФЛ-086<br>(ГОСТ 16302–79)   | Ж      | 18–23       | 5 ч          |   |
|   |        | 80          | 2 ч          |   |
| Алкидно-стирольная МС-015   | К-К    | 18–23       | 2 ч          | Наносят на черные металлы в комплексе с алкидно-стирольными эмалями для покрытий внутри помещений   |
| Акриловая АК-070  | Ж      | 18–23       | 1 ч          | Наносят на оксидированные алюминиевые и магниевые сплавы, на места паек припоями ПОС40; ПОС61 под сополимерные и перхлорвиниловые эмали   |
| Поливинилбутиральные<br>ВЛ-02; ВЛ-08  | Ж      | 18–23       | 15 мин       | Наносят на цветные металлы под перхлорвиниловые, масляные, глифталевые, пентафталевые, а при окраске черных металлов под алкидно-стирольные и поливинилбутиральные эмали в комплексе атмосферостойких и водостойких покрытий  |
| Эпоксидная ЭП-09Т   | Ж, К   | 150         | 1 ч          | Наносят на черные и цветные металлы под эпоксидные, нитроэпоксидные эмали в комплексе атмосферостойких покрытий без воздействия солнечной радиации  |
| <i>Шпатлевки (ГОСТ 10277–76)</i>  |        |             |              |   |
| Перхлорвиниловые: ХВ-005  | С      | 18–23       | 2,5 ч        | Наносят под сополимерные и перхлорвиниловые эмали. При применении других эмалей шпатлевки необходимо перекрыть грунтовкой; ХВ-005 применяют для сплошного и местного шпатлевания; ХВ-004 – только для местного  |
|   |        | 60          | 1 ч          |   |
| ХВ-004  | З      | 18–23       | 2 ч          |   |
| Пентафталевая ПФ-002  | К-К    | 18–23       | 24 ч         | Применяют для сплошного и местного шпатлевания под различные эмали (перед нанесением нитроцеллюлозных и перхлорвиниловых эмалей шпатлевку следует перекрыть грунтом)  |
|   |        | 18–23       | 3 ч          |   |
|   |        | Затем<br>80 | 1 ч          |   |
| Масляная КФ-003   | к, Защ | 100         | 1 ч          | Применяют для сплошного и жесткого шпатлевания под масляные и глифталевые и пентафталевые эмали для покрытий, стойких внутри помещения  |
| Нитроцеллюлозная НЦ-007   | К-К    | 18–23       | 1 ч          | Применяют для исправления незначительных дефектов под нитроцеллюлозные эмали  |
| Алкидно-стирольная МС-006   | Р      | 18–23       | 15 мин       | Применяют для исправления незначительных дефектов под меламинные, мочевиные, глифталевые, пентафталевые алкидно-стирольные эмали  |
| Эпоксидные ЭП-0010  | К-К    | 18–23       | 24 ч         | Применяют как самостоятельное химически стойкое покрытие и с перекрытием эпоксидными эмалями, для выправки дефектов глубиной до 2 мм, а с наполнителем до 5 мм  |
| ЭП-0020   | к      | 18–23       | 24 ч         | Применяют для выправки углублений глубиной до 5 мм; в качестве грунтовок под эпоксидные эмали   |
| <i>Примечания: * К – красный; К – К – красно-коричневый; Ж – желтый; С – серый; З – зеленый; Р – розовый; Защ – защитный; Ч – черный.</i> |        |             |              |   |

## Классификация покрытий по внешнему виду

| Класс покрытия | Характеристика внешнего вида  |
|----------------|---|
| I              | Поверхность ровная, гладкая, однотонная; не допускаются дефекты поверхности, видимые без применения увеличительных приборов   |
| II             | Поверхность ровная, гладкая, однотонная или с характерным рисунком. Допускаются отдельные, малозаметные без применения увеличительных приборов соринки, следы зачистки, риски, штрихи и пр. Ресунчатые покрытия должны иметь четкий рисунок без непрявленных участков |
| III            | Поверхность однотонная, гладкая или с характерным рисунком. Допускаются отдельные, заметные без применения увеличительных приборов соринки, следы зачистки, риски и штрихи, а также неровности, связанные с состоянием окрашиваемой поверхности до окраски            |
| IV             | Поверхность однотонная с характерным рисунком. Допускаются различные заметные дефекты, не влияющие на защитные свойства покрытий  |



## Глава 6 НЕРАЗЪЕМНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ

### 6.1. СОЕДИНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ НА ЗАКЛЕПКАХ

#### 6.1.1. КОНСТРУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Таблица 6.1

Заклепки с полукруглой головкой по ГОСТ 10299 – 80

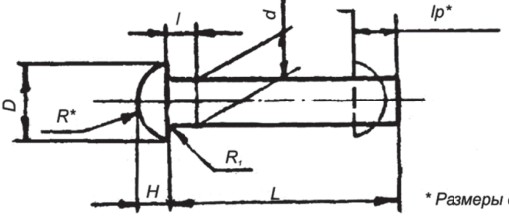
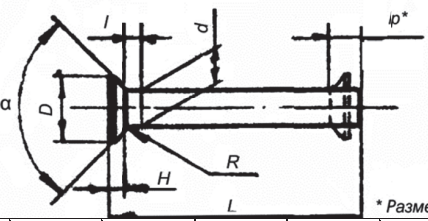
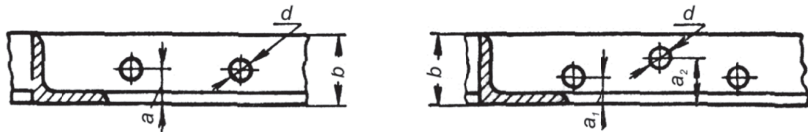
|   |      |      |      |      |      |      |      |       |       |
|---|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| Диаметр стержня, d  | 2    | 2,5  | 3    | 4    | 5    | 6    | 8    | 10    | 12    |
| D, js15   | 3,5  | 4,4  | 5,3  | 7,1  | 8,8  | 11   | 14   | 16    | 19    |
| H, Js16   | 1,2  | 1,5  | 1,8  | 2,4  | 3,0  | 3,6  | 4,8  | 6,0   | 7,2   |
| R <sub>1</sub> , не более   | 0,2  |      | 0,4  |      | 0,5  |      |      | 0,6   | 0,8   |
| R   | 1,9  | 2,4  | 2,9  | 3,8  | 4,7  | 6    | 7,5  | 8,3   | 9,8   |
| Расстояние от основания головки до места замера диаметра, l   | 1,5  | 3    |      | 4    |      |      | 6    |       |       |
| l <sub>p</sub>  | 2,2  | 2,7  | 3,3  | 4,3  | 5,3  | 6,9  | 8,5  | 9,1   | 10,6  |
| L   | 4÷16 | 4÷20 | 4÷40 | 5÷50 | 6÷60 | 6÷60 | 6÷70 | 12÷80 | 16÷80 |
| <i>Примечание.</i> Размер L в указанных пределах брать из следующего ряда чисел: 5, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 36, 38, 40, 42, 45, 48, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80. |      |      |      |      |      |      |      |       |       |

Таблица 6.2

Заклепки с потайной головкой по ГОСТ 10300 – 80

|   |      |      |      |      |      |      |      |       |       |
|---|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| Диаметр стержня, d  | 2    | 2,5  | 3    | 4    | 5    | 6    | 8    | 10    | 12    |
| D, js15   | 3,9  | 4,5  | 5,2  | 7,0  | 8,8  | 10,3 | 13,9 | 17    | 20    |
| H Js16  | 1,0  | 1,1  | 1,2  | 1,6  | 2,0  | 2,4  | 3,2  | 4,8   | 5,6   |
| R, не более   | 0,1  |      | 0,2  |      | 0,25 |      |      | 0,3   | 0,4   |
| Расстояние от основания головки до места замера диаметра, l   | 1,5  | 3    |      | 4    |      |      | 6    |       |       |
| α   | 90°  |      |      |      |      |      | 75°  |       |       |
| l <sub>p</sub>  | 2,3  | 2,2  | 2,3  | 3,1  | 3,9  | 4,5  | 6,1  | 8,2   | 10,2  |
| L   | 5÷18 | 5÷20 | 5÷40 | 5÷50 | 8÷60 | 8÷60 | 8÷60 | 16÷75 | 18÷80 |
| <i>Примечание.</i> Размер L в указанных пределах брать из следующего ряда чисел: 5, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 36, 38, 40, 42, 45, 48, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80. |      |      |      |      |      |      |      |       |       |

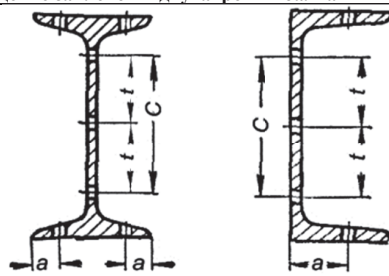
Размещение заклепок в угольниках



| Однорядные швы |          |          | Двухрядные шахматные швы |                       |                       |          |
|----------------|----------|----------|--------------------------|-----------------------|-----------------------|----------|
| <i>b</i>       | <i>a</i> | <i>d</i> | <i>b</i>                 | <i>a</i> <sub>1</sub> | <i>a</i> <sub>2</sub> | <i>d</i> |
| 50             | 30       | 17       | 100                      | 48                    | 26                    | 20       |
| 60             | 35       | 20       | 120                      | 45                    | 80                    | 23       |
| 65             | 35       | 20       | 120                      | 48                    | 85                    | 26       |
| 75             | 38       | 20       | 120                      | 50                    | 80                    | 20       |
| 75             | 40       | 23       | 130                      | 48                    | 100                   | 23       |
| 90             | 40       | 20       | 130                      | 50                    | 95                    | 26       |
| 90             | 43       | 23       | 130                      | 53                    | 90                    | 20       |
| 90             | 45       | 26       | 150                      | 58                    | 120                   | 23       |
| 100            | 43       | 20       | 150                      | 53                    | 115                   | 26       |
| 100            | 45       | 23       | 150                      | 58                    | 110                   | –        |

Таблица 6.4

Размещение заклепок в двутавровых балках и швеллерах



| № профилей  | Отверстия в полках |          | <i>S</i> <sub>max</sub> для двух и более рядов заклепок при <i>d</i> – диаметрах заклепочных отверстий |     |     |     |     |     |
|---|--------------------|----------|--|-----|-----|-----|-----|-----|
|   | <i>a</i>           | <i>d</i> | 12   | 14  | 17  | 20  | 23  | 26  |
| <i>Двутавры</i>   |                    |          |  |     |     |     |     |     |
| 14  | 18                 | 12       | 68   | 62  | 53  | –   | –   | –   |
| 16  | 20                 | 14       | 84   | 78  | 69  | –   | –   | –   |
| 18  | 22                 | 17       | –  | 96  | 87  | 78  | –   | –   |
| 20a   | 24                 | 17       | –  | 113 | 104 | 98  | 86  | –   |
| 24a   | 27                 | 20       | –  | –   | 136 | 127 | 118 | 109 |
| 30a   | 28                 | 20       | –  | –   | –   | 184 | 175 | 166 |
| 36a   | 29                 | 20       | –  | –   | –   | 239 | 230 | 221 |
| 40a   | 32                 | 23       | –  | –   | –   | 276 | 267 | 258 |
| <i>Швеллеры</i>   |                    |          |  |     |     |     |     |     |
| 8   | 25                 | 12       | –  | –   | –   | –   | –   | –   |
| 10  | 28                 | 14       | –  | –   | –   | –   | –   | –   |
| 12  | 30                 | 17       | 45   | 39  | –   | –   | –   | –   |
| 14a   | 35                 | 17       | 62   | 56  | 47  | –   | –   | –   |
| 16a   | 35                 | 20       | 80   | 74  | 65  | 56  | –   | –   |
| 20a   | 40                 | 23       | –  | 106 | 101 | 92  | 83  | 74  |
| 24a   | 44                 | 26       | –  | –   | 136 | 127 | 118 | 109 |
| 30a   | 48                 | 29       | –  | –   | –   | 181 | 172 | 163 |
| 36a   | 55                 | 29       | –  | –   | –   | 230 | 221 | 212 |
| 40a   | 58                 | 29       | –  | –   | –   | 262 | 253 | 244 |
| Наименьший шаг <i>t</i> при числе рядов заклепок более двух |                    |          |  |     |     |     |     |     |
| Диаметр заклепочных отверстий                               |                    |          | 12   | 14  | 17  | 20  | 23  | 26  |
| <i>t</i> <sub>min</sub>                                     |                    |          | 35   | 40  | 50  | 60  | 70  | 80  |

Соединения деталей на заклепках – неразборные соединения, получаемые посредством соединения при сборке деталей заклепками, называют заклепочными. Разборка их обычно сопровождается разрушением деталей соединения.

В современном машиностроении клепка в значительном числе случаев заменена более производительной электросваркой. Однако в ряде отраслей машиностроения, например, в авиастроении, автотракторостроении, сельскохозяйственном машиностроении и др. клепка еще широко распространена.

Особенность заклепочного соединения состоит в том, что это соединение прочное и надежное, устойчивое к ударным и повторно переменным нагрузкам. При этом проверка качества соединения не сложная и не трудоемкая. Клепка позволяет соединить любые материалы, не изменяя их физико-химических свойств, и включая те, которые нет возможности соединить известными методами.

Место соединения деталей заклепками называют заклепочным швом.

По назначению заклепочные швы делятся на прочные, от которых требуется только механическая прочность, и прочноплотные, от которых помимо механической прочности требуется также герметичность соединения.

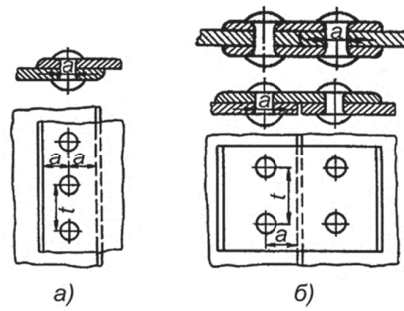


Рис. 6.1. Виды соединения листов:  
а – внахлестку; б – стыковочные

По виду соединения листов различают заклепочные швы двух видов: внахлестку (рис. 6.1, а), когда один лист накладывают на другой, и стыковочные, когда листы подводят встык и соединяют наложенными на них одной или двумя накладками (рис. 6.1, б).

Кроме того, по расположению заклепок швы могут быть однорядные, двухрядные, многорядные, параллельные и шахматные.

Основные типы заклепок, применяемых в современном машиностроении, приведены на рис. 6.2. Готовая головка заклепки называется *закладной*, а головка, получаемая в результате клепки, — *замыкающей*.

При выборе материалов желательно, чтобы коэффициенты линейного расширения заклепок и соединяемых деталей были примерно равными (во избежание температурных напряжений). В соединении не следует применять сочетания разнородных материалов, образующих гальванические пары (во избежание возникновения гальванических токов, быстро разрушающих соединения). По этой причине применяют для соединения медных деталей медные заклепки, для алюминиевых – алюминиевые и т. д.

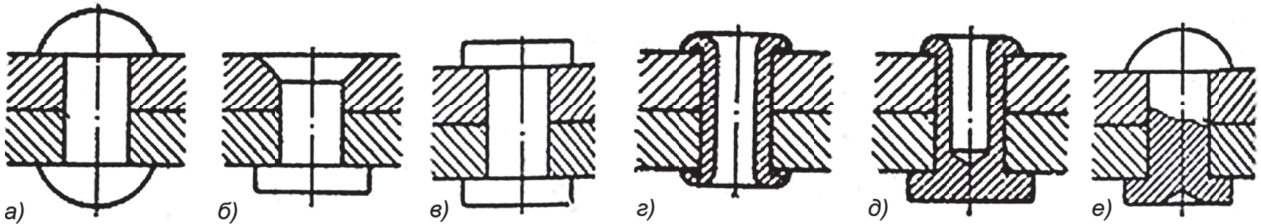


Рис. 6.2. Типы заклепок:  
а – со сферической головкой; б – с потайной головкой; в – с плоской головкой; г – пустотелая; д – полупустотелая; е – специальная

На качество шва влияет правильный выбор величины заклепок и их расположения по длине соединения.

Из расчета прочности соединений и практического опыта принимают:

Диаметр заклепок  $d \approx (1,5 \dots 2) \delta_{min}$  или  $d = t/2\delta$ , где  $d$  – диаметр заклепки, мм,  $\delta_{min}$  – меньшая толщина из склепываемых листов, мм,  $t$  – шаг заклепок, мм.

Длина стержня заклепки зависит от толщины склепываемых листов и формы замыкающей головки. Замыкающая головка образуется из выступающей части стержня. Длина этой части стержня для образования потайной головки должна быть от  $0,8 d$  до  $1,2 d$ , а для образования полукруглой головки – от  $1,2 d$  до  $1,5 d$ .

В зависимости от диаметра  $d$  заклепки диаметр отверстия  $d_0$  под заклепку рекомендуется принимать  $d_0 = d + (0,2 \dots 2)$  мм.

Расстояние от центра заклепки до края листа должно быть не менее  $a = (1,5 \dots 2)d$ .

Толщина накладок, расположенных с двух сторон листа,  $\delta_n = 0,75 \dots 0,8\delta$  и  $\delta_n = 1,25\delta$  – с одной стороны.

Шаг заклепок для двухрядного шва внахлестку –  $t \approx (3 \dots 6) d$ , для двухрядного шва с двумя накладками  $t \approx 6 d$ , для однорядного шва с двумя накладками  $t \approx 3,5 d$  ( $a = 3d + 2 \text{ мм}$ ).

Шаг между рядами заклепок  $\approx t$ , при расположении в шахматном порядке –  $t \approx (2 \dots 3)d_0$ .

Необходимое количество заклепок  $m$  определяют расчетным путем.

Отверстия под заклепки могут быть получены пробивкой или продавливанием и сверлением. Рекомендуемые диаметры отверстий под заклепки в табл. 6.5.

Таблица 6.5

|                     |               | Рекомендуемые диаметры отверстий под заклепки, мм |     |     |      |      |      |      |      |      |    |    |    |    |
|---------------------|---------------|---|-----|-----|------|------|------|------|------|------|----|----|----|----|
| Диаметр заклепки, d |               | 6,0   | 7,0 | 8,0 | 10,0 | 13,0 | 13,5 | 16,0 | 16,5 | 19,0 | 22 | 25 | 28 | 30 |
| $d_0$               | Точная сборка | 6,2   | 7,2 | 8,2 | 10,5 | 13,5 | 14,0 | 16,5 | 17,0 | 20,0 | 23 | 26 | 29 | 31 |
|                     | Грубая сборка | 6,8   | 7,8 | 8,8 | 11,0 | 14   | 14,5 | 17,0 | 17,5 | 21,0 | 24 | 27 | 30 | 32 |

6.1.2. РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ ЗАКЛЕПОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

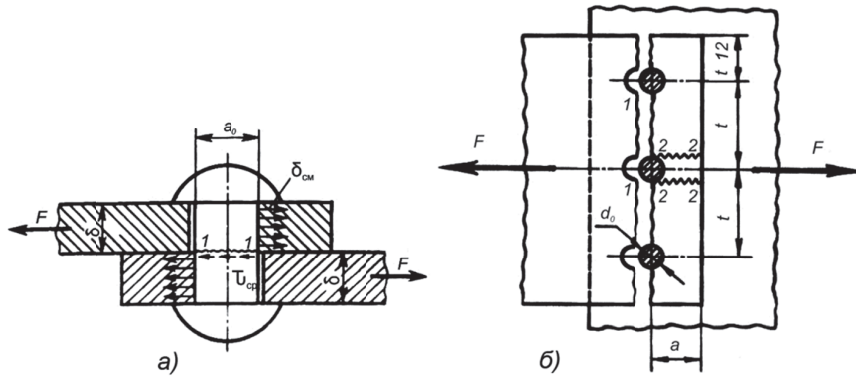


Рис 6.3. Схема действия сил в заклепочном соединении

Основным критерием работоспособности клепаных соединений – прочность, причем при расчетах предполагается, что напряжения в сечениях распределены равномерно.

Обычно клепаные соединения нагружены силами, действующими параллельно плоскости контакта соединяемых деталей, поэтому разрушение соединения может произойти в результате следующих причин:

- срез заклепок по сечению 1 – 1 под действием касательных напряжений (рис. 6.3, а);
- смятие отверстий соединяемых деталей и заклепок под действием сил, вызывающих напряжения смятия (рис. 6.3, а), в результате чего оси заклепок перекашиваются, возникает внецентренное растяжение и может произойти отрыв головок от стержня;
- разрыв соединяемой детали по сечению, ослабленному отверстиями под заклепки (рис. 6.3, б);
- срез соединяемых деталей по двум сечениям 2 – 2 (рис. 6.3, б).

В результате процесса клепки стержень заклепки осаживается (укорачивается и увеличивается в диаметре), в результате материал заклепки заполняет отверстие. Поэтому расчет соединения ведут по диаметру  $d_0$  отверстия под заклепку. При этом предполагается, что нагрузка  $F$  распределяется между заклепками шва равномерно. Сила трения, возникающая между склепанными деталями, в расчете на прочность не учитывается.

В соединении внахлестку (рис. 6.3) внешняя сила  $F$  образует пару сил моментом которой, из-за малой толщины  $\delta$  склепываемых листов, пренебрегаем.

Тогда расчет на прочность клепаного соединения будет состоять:

1. Из расчета прочности заклепок на срез по сечению 1 – 1 (рис. 6.3, а)

$$\tau_{ср} = F / (mA_{ср}) = F / (0,75md_0^2) \leq [\tau_{ср}],$$

где  $A_{ср} = 0,25 \cdot i\pi d_0^2$ ;  $i$  – число плоскостей среза;  $A_{ср}$  – площадь среза заклепки;

$m$  – число заклепок шва при симметрично действующей нагрузке  $m \geq F / (A_{ср} [\tau_{ср}])$ .

2. Из расчета прочности соединения на смятие боковой поверхности заклепок и стенок отверстий соединяемых деталей (рис. 6.3, а)

$$\sigma_{см} = F / (mA_{см}) \leq [\sigma_{см}],$$

где  $A_{см} = d_0 \delta_{мин}$ ;  $\delta_{мин}$  – меньшая толщина из соединяемых деталей (высота проекции стержня заклепки), число отверстий в опасном сечении листа;  $m$  – число отверстий в опасном сечении листа.

3. Из расчета прочности соединяемых деталей на растяжение (разрыв) по сечению 1-1 (рис. 6.3, б), ослабленному отверстиями под заклепки

$$\sigma_p = F / (A_p) \leq [\sigma_p],$$

где  $A_p = (b - d_0)m \delta_{мин}$  – расчетная площадь в опасном сечении листа.

4. Из расчета прочности соединяемых деталей на срез заклепками по сечению 2-2 (рис. 6.3, б)

$$\tau'_{ср} = F / (mA'_{ср}) \leq [\tau'_{ср}],$$

где  $A'_{ср} = 2(e - d_0/2) \delta_{мин}$  (здесь длина  $e$  сечения 2 – 2 уменьшенная на  $d_0/2$ , так как вначале материал сминается на эту величину и лишь затем происходит срез).

Рекомендуемые значения допускаемых напряжений приведены в табл. 6.6.

Таблица 6.6

Рекомендуемые значения допускаемых напряжений в заклепочном соединении

| Компонент шва      | Вид допускаемых напряжений | Способ изготовления отверстий | Значения допускаемых напряжений, МПа |             |
|--------------------|----------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|-------------|
|                    |                            |                               | Ст2, Ст10кп                          | Ст3, Ст20кп |
| Детали конструкции | Растяжение $[\sigma_p]$ ,  |                               | 140                                  | 160         |
|                    | Срез $[\tau_{ср}]$         |                               | 90                                   | 100         |
|                    | Смятие $[\sigma_{см}]$     |                               | 210                                  | 240         |
| Заклепки           | Срез $[\tau_{ср}]$         | Пробивка                      | 100                                  | 100         |
|                    |                            | Сверление                     | 140                                  | 140         |
|                    | Смятие $[\sigma_{см}]$     | Пробивка                      | 240                                  | 280         |
|                    |                            | Сверление                     | 280                                  | 320         |

Примечание. Для латуни и дюралюминия – допускаемые значения напряжений для Ст3/(1,5...2).

**Пример.** Налесточное заклепочное соединение двух полос из дюралюминия  
 $b \times \delta = 350 \times 12$  мм с приложенной силой  $F = 250$  кН.

**Вычисление**

Диаметр заклепок

$$d \approx (1,8 \dots 2,2) \delta_{\min} = (1,8 \dots 2,2) \cdot 12 = 21,6 \dots 26,4 \text{ мм. По табл. 6.5 выбираем } d = 25 \text{ мм и } d_0 = 26 \text{ мм.}$$

Допускаемые напряжения по табл. 6.6 с учетом примечания

$$\text{Металл } [\sigma_p] = 160 / 2 = 80 \text{ МПа,}$$

$$\text{Заклепки } [\sigma_{cm}] = 320 / 2 = 160 \text{ МПа,}$$

$$[\tau_{cp}] = 140 / 2 = 70 \text{ МПа, при сверленных отверстиях.}$$

Количество заклепок

$$m \geq F / (A_{cp} [\tau_{cp}]) m. A_{cp} = m \pi d_0^2 / 4 = 1 \cdot 3,14 \cdot 26^2 / 4$$

$$m \geq 250 / (1 \cdot 3,14 \cdot 26^2 / 4) \cdot 70 = 7,9.$$

Прочность на смятие

$$\sigma_{cm} = F / (A_{cm} m) \leq [\sigma_{cm}]$$

$$m \geq F / (A_{cp} [\sigma_{cm}]) = 250 / (1 \cdot 3,14 \cdot 26^2 / 4) \cdot 160 = 5,01.$$

Принимаем 8 заклепок

Основные параметры заклепочного шва

Шаг заклепок

$$t \approx (3 \dots 6) d = (3 \dots 6) 25 = 75 \dots 150 \text{ мм.}$$

При  $b=350$  мм можно разместить в ряду 3 заклепки при  $p=115$  мм.

Расстояние от края листа до центра заклепки

$$a \approx (1,5 \dots 2) d = (1,5 \dots 2) 25 = 37,5 \dots 50 \text{ мм.}$$

Расстояние между рядами, расположенными в шахматном порядке

$$t \approx (2 \dots 3) d_0 = (2 \dots 3) 26 = 52 \dots 78 \text{ мм.}$$

Проверка соединяемых листов на растяжение в опасном сечении при  $m=3$

$$\sigma_p = F / ((b - d_0) m) \delta_{\min} = 250 / (350 - 26 \cdot 3) 12 = 76,5 \text{ МПа} \leq [\sigma_p] = 80 \text{ МПа,}$$

что приемлемо.

**Конструкции на заклепках** чаще всего состоят из следующих видов деталей: фермы из стержней, работающих на растяжение или сжатие (на продольный изгиб), балки и стойки. Для каждого из этих видов деталей применяют определенные проверенные опытом методы расчета и конструкции заклепочных соединений.

Стержни соединяются в узловых точках посредством косынок.

Стержни, работающие на сжатие, изготавливаются из профилей с малой площадью сечения и большим моментом инерции, т.е. из угольников, двутавров, швеллеров.

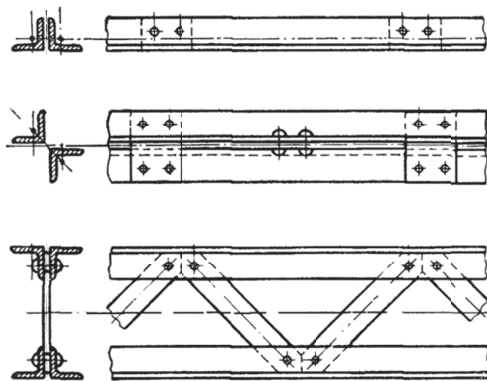


Рис. 6.4. Составные стержни фермы

В зависимости от расположения применяют стержни цельные, состоящие из таврового, двутаврового или швеллерного профиля проката. Могут быть применены составные стержни из двух профилей (углового, двутаврового, таврового или швеллерного), соединенных сплошным рядом соединительных заклепок, а также сложносоставные (рис. 6.4), изготовленные из двух или нескольких цельных стержней, взаимно связанных накладками или косынками. Стержни ферм должны быть соединены таким образом, чтобы линии центров тяжести стержней пересекались в одной точке косынки (рис. 6.5).

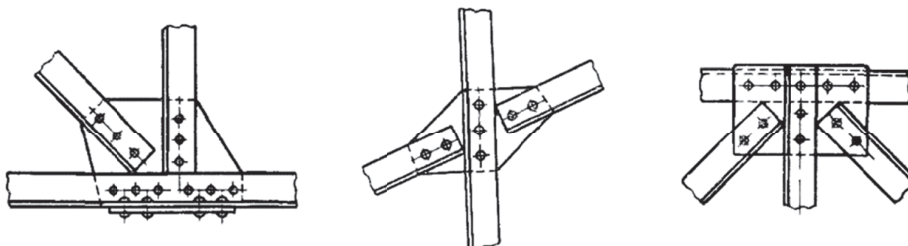


Рис. 6.5. Соединение профилей в узел с помощью косынки с учетом их центров тяжести



Если угольник присоединен только одной своей полкой, то для соединения должны быть применены 3 или 2 заклепки. Присоединение лишь одной заклепкой применять нельзя.

## 6.2. СОЕДИНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ СВАРКОЙ

Соединение сваркой – неразъемное соединение, полученное в результате того, что в месте соединения деталей металл расплавляют и заполняют образовавшееся пространство присадочным расплавленным металлом. Полученная смесь металлов при застывании образует сварочный шов, который по механическим свойствам (на разрыв) может выдерживать большие нагрузки, чем свариваемые металлы.

Сварка может быть (рис. 6.6) электродуговой, газопламенной, электроконтактной и др.

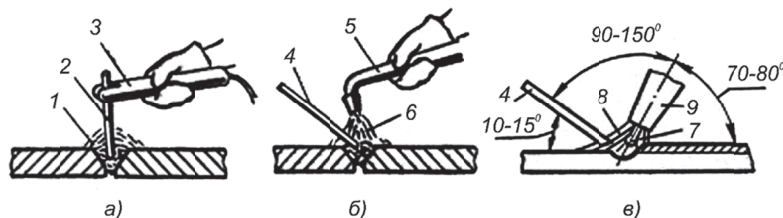


Рис. 6.6. Виды сварки:

*a* – дуговая, *б* – газовая, *в* – в среде защитных газов: 1 – электрическая дуга, 2 – плавящийся электрод, 3 – электрододержатель, 4 – присадочный материал, 5 – сварочная горелка, 6 – пламя, 7 – электрод, 8 – защитный газ, 9 – сопло горелки

### 6.2.1. ЭЛЕКТРОКОНТАКТНАЯ СВАРКА ДЕТАЛЕЙ

Видами контактной сварки являются точечная, шовная и стыковая. При точечной и шовной электросварке электрический ток пропускают через электроды, сжимающие листы, положенные внахлестку, а при стыковой – через листы, положенные встык. В процессе сварки электрод перемещается по поверхности соединяемых листов. Под электродом, в месте его прохождения, ток, проходя через металл, нагревает его, и листы свариваются.

Эти виды сварки очень экономичны и производительны, их применяют для соединения листовых изделий (рис. 6.7).

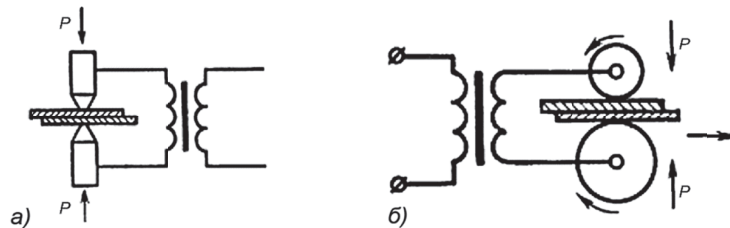


Рис. 6.7. Схемы электроконтактной сварки:

*a* – точечная, *б* – шовная

### 6.2.2. ЭЛЕКТРОДУГОВАЯ СВАРКА ДЕТАЛЕЙ

При соединении деталей электродуговой сваркой (рис. 6.6, *a*) металл плавится под действием теплоты электрического тока, выделяемой вольтовой дугой. Для получения вольтовой дуги применяют аппараты постоянного и переменного тока.

Сварку деталей обычно выполняют на сварочном столе, поверхность которого выполнена из стального листа.

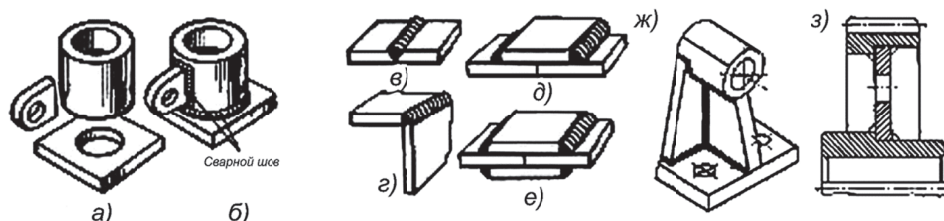


Рис. 6.8. Детали и сварные соединения:

*a* – детали, подготовленные под сварку, *б* – соединение деталей после сварки; соединения: *в* – стыковое, *г* – угловое, *д* – с одной накладкой, *е* – с двумя накладками, *ж*, *з* – тавровое

Процесс электросварки осуществляется следующим образом. В электрическую цепь к сварочной установке подключают к отрицательному полюсу поверхность стола со свариваемыми деталями, противоположным положительным полюсом является присадочный материал (электрод), который изготовляют из мягкой стальной проволоки диаметром 2–12 мм с содержанием углерода до 0,25 % и покрывают специальным флюсом для снижения окисляемости сварочного шва. При сварке электрод плавится под действием теплоты вольтовой дуги; расплавленный металл электрода заполняет кратер, образуемый вольтовой дугой. Температура дуги в момент сварки достигает 6700 °С. Дуговая сварка дает возможность получить различные соединения и швы (рис. 6.8 и табл. 6.7).

Максимальная толщина деталей, свариваемых вручную без скоса кромок, равна 4 мм при односторонней и 6 мм при двухсторонней сварке стали.

Типы швов сварных соединений

| ГОСТ      | Вид сварки                               | Вид соединения                                  | Пределы толщины свариваемых деталей, мм         | Условные обозначения швов                   |
|-----------|--|---|---|---|
| 5264-80   | Ручная дуговая                           | Стыковое<br>Тавровое<br>Нахлесточное<br>Угловое | 1...100<br>2...100<br>2...60<br>1...50          | C1...C25<br>T1...T11<br>H1...H3<br>Y1...Y10 |
| 8713-79*  | Механическая и автоматическая под флюсом | Стыковое<br>Тавровое<br>Нахлесточное<br>Угловое | 1,5...160<br>3...60<br>1...40<br>1,5...40       | C1...C34<br>T1...T13<br>H1...H6<br>Y1...Y10 |
| 14771-76* | В защитных газах                         | Стыковое<br>Тавровое<br>Нахлесточное<br>Угловое | 0,5...120<br>0,8...100<br>0,8...60<br>0,5...100 | C1...C28<br>T1...T10<br>H1...H2<br>Y1...Y10 |

**Способы подготовки кромок** определяются толщиной и маркой свариваемого металла, типом соединения, его пространственным положением при сварке и технологическим процессом сварки (одно- или двухсторонняя сварка) (табл. 6.8).

Подготовка кромок монтажных стыков по возможности должна предусматривать их сварку в нижнем или вертикальном положении.

Таблица 6.8

Способы подготовки кромок под электросварку

| Вид сварного соединения   | Свариваемые кромки и метод сварки в зависимости от толщины металла $\delta$ |   |
|---|---|---|
| Стыковое соединение – С   |   |   |
| Нахлесточное соединение – Н (лобовое, фланговое, комбинированное) |   |   |
| Угловое соединение – У  |   |   |
|   |   | $\delta \geq 4$ ;<br>$a = 1 \pm 1$ ; $p = 2$ ;<br>$c = 1 \pm 1$ ; $k_1 = 3$ ;<br>$\alpha = 50$ ; $\alpha_1 = 60$ ;<br>$\varphi = 40 \div 90^\circ$  |
| Тавровое соединение – Т   |   |   |
|   |   | $\delta \geq 10$ ;<br>$a = 1 \pm 1$ ; $p = 2$ ;<br>$c = 1 \pm 1$ ; $k_1 = 3$ ;<br>$\alpha = 50$ ; $\alpha_1 = 60$ ;<br>$\varphi = 40 \div 90^\circ$ |

При определении значения катета шва  $k$  принимают меньший катет вписанного в сечение шва равнобедренного треугольника. Минимальный катет  $k_{min}$  валиковых швов, обеспечивающий удовлетворительный провар, определяют в зависимости от толщины свариваемых элементов  $\delta$ , приведенных в табл. 6.9.

Таблица 6.9

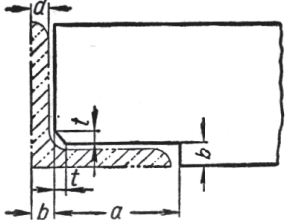
Минимальный катет  $k_{min}$  валиковых швов, мм

|           |     |       |        |         |      |
|-----------|-----|-------|--------|---------|------|
| $\delta$  | < 4 | 4 – 8 | 9 – 15 | 16 – 25 | 25 > |
| $k_{min}$ | 3   | 4     | 6      | 8       | 10   |

**Конструктивные элементы.** При сварке профильной стали производят подготовку присоединяемой детали по размерам в соответствии с табл. 6.10 и 6.11.

Таблица 6.10

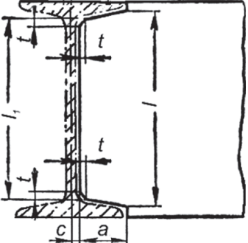
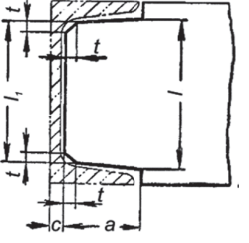
Соединение с уголком равнобоким



| № профиля | Толщина полки d | a  | b  | t  | № профиля | Толщина полки d | a  | b  | t  | № профиля | Толщина полки d | a   | b   | t   |    |
|-----------|-----------------|----|----|----|-----------|-----------------|----|----|----|-----------|-----------------|-----|-----|-----|----|
| 3         | 4               | 26 | 5  | 5  | 8         | 6               | 74 | 7  | 6  | 12        | 10              | 111 | 11  | 12  |    |
|           | 5               | 25 | 6  | 5  |           | 8               | 7  | 8  | 8  |           | 12              | 12  | 109 | 13  | 12 |
| 4         | 4               | 36 | 5  | 5  |           | 9               | 10 | 70 | 11 |           | 8               | 14  | 107 | 15  | 12 |
|           | 5               | 35 | 6  | 5  |           |                 | 8  | 83 | 9  |           | 8               | 16  | 105 | 17  | 14 |
| 5         | 5               | 45 | 6  | 5  |           | 10              | 12 | 81 | 11 | 10        | 13              | 10  | 121 | 11  | 12 |
|           | 6               | 44 | 7  | 5  |           |                 | 14 | 79 | 13 | 10        |                 | 12  | 12  | 119 | 13 |
| 6,5       | 6               | 59 | 7  | 6  | 11        | 16              | 77 | 15 | 12 | 14        | 14              | 117 | 15  | 12  |    |
|           | 8               | 57 | 9  | 8  |           | 8               | 83 | 9  | 8  |           | 16              | 115 | 17  | 14  |    |
| 7,5       | 10              | 55 | 11 | 8  | 12        | 10              | 93 | 9  | 10 | 15        | 12              | 139 | 13  | 12  |    |
|           | 12              | 63 | 13 | 10 |           | 10              | 91 | 11 | 10 |           | 12              | 14  | 137 | 15  | 14 |
|           |                 |    |    |    |           | 12              | 89 | 13 | 10 |           | 16              | 135 | 17  | 14  |    |
|           |                 |    |    |    |           | 14              | 87 | 15 | 12 |           | 18              | 133 | 19  | 14  |    |
|           |                 |    |    |    |           | 16              | 85 | 17 | 12 |           |                 |     |     |     |    |

Таблица 6.11

Соединение с двутавром и с швеллером

| № профилей и типы | a  | c | l   | $l_1$ | Фаска t | № профилей и типы | a  | c  | l   | $l_1$ | Фаска t |
|-------------------|----|---|-----|-------|---------|-------------------|----|----|-----|-------|---------|
| 14                | 38 | 4 | 127 | 111   | 4       | 8                 | 38 | 6  | 66  | 58    | 5       |
| 16                | 42 | 4 | 146 | 130   | 5       | 10                | 43 | 6  | 86  | 77    | 7       |
| 18                | 44 | 5 | 165 | 148   | 5       | 12                | 47 | 7  | 106 | 90    | 7       |
| 20a               | 47 | 5 | 184 | 167   | 6       | 14a               | 52 | 7  | 125 | 114   | 7       |
| 24a               | 55 | 6 | 220 | 203   | 6       | 16a               | 56 | 8  | 145 | 133   | 7       |
| 30a               | 59 | 6 | 280 | 260   | 7       | 20a               | 65 | 9  | 182 | 171   | 8       |
| 36a               | 63 | 7 | 338 | 315   | 7       | 24a               | 70 | 9  | 222 | 207   | 8       |
| 40a               | 66 | 7 | 376 | 352   | 8       | 30a               | 78 | 9  | 278 | 264   | 8       |
|                   |    |   |     |       |         | 36a               | 88 | 10 | 336 | 319   | 10      |
|                   |    |   |     |       |         | 40a               | 90 | 12 | 372 | 352   | 10      |

В случае сварки встык кромок листов разной толщины ( $\delta$  и  $\delta_1$ ), разница должна быть выдержана в соответствии с рекомендациями табл. 6.12.

Рекомендации по сварке встык кромок листов разной толщины

| $\delta$ , мм | $\Delta = \delta_1 - \delta$ , мм |
|---------------|-----------------------------------|
| < 3           | 0,7 $\delta$                      |
| 4-8           | 0,6 $\delta$                      |
| 9-11          | 0,4 $\delta$                      |
| 12-25         | 5                                 |
| > 25          | 7                                 |

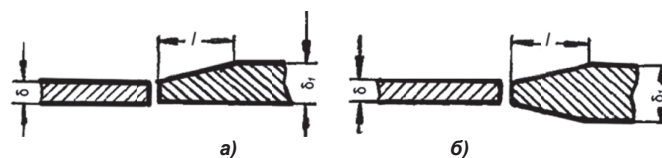


Рис. 6.9. Сварка листов разной толщины

При сварке встык, если разность толщин кромок листов превышает указанную величину  $\Delta = \delta_1 - \delta$  при одностороннем превышении кромок, то на листе с большей толщиной выполняют скос до толщины тонкого листа с одной стороны длиной  $l = 5(\delta_1 - \delta)$ ; согласно рис. 6.9, а.

Если разность толщин кромок листов превышает указанную величину  $\Delta = 2(\delta_1 - \delta)$  при двустороннем превышении кромок, то на листе с большей толщиной выполняют скос с двух сторон длиной  $l = 2,5(\delta_1 - \delta)$  – согласно рис. 6.9, б.

Допускается смещение свариваемых кромок относительно друг друга до 10%, но не более 3 мм.

Сварка алюминия и его сплавов встык толщиной до 25 мм обычно производится без скоса кромок с зазором 1–1,5 мм.

### 6.2.3. ГАЗОВАЯ СВАРКА ДЕТАЛЕЙ

При газовой сварке производят местный нагрев свариваемых металлов до температуры плавления и сваривают их с помощью присадочного материала. Металлы нагревают газовой горелкой. Температура при горении газовой смеси достигает 3100 – 3200 °С.

В качестве присадочного материала при сварке низкоуглеродистой стали применяют проволоку с содержанием (%): 0,06–0,1 углерода, 0,1–0,25 кремния и 0,2–0,4 марганца.

Газовую сварку применяют для соединения тонкой листовой стали, чугуна, цветных металлов и сплавов, а также для разъединения сваренных деталей и для резки металла на заготовки для деталей.

Известны два основных способа ручной газовой сварки: правый и левый.

В первом случае пламя сварочной горелки направлено на выполненный шов, горелка перемещается впереди прутка присадочного металла, процесс сварки ведется слева направо.

Во втором случае пламя направлено в сторону еще не заваренного соединения, впереди находится пруток присадочного металла, а за ним пламя горелки, процесс сварки ведется справа налево.

Левый способ, получивший наибольшее распространение, более пригоден для сварки стальных деталей толщиной до 3 мм. Он обеспечивает получение шва с равномерными шириной и высотой валика и с лучшим внешним видом. При этом способе уменьшается вероятность прожога металла при сварке листов малой толщины.

Правый способ рекомендуется для сварки стальных деталей, особенно из легированных сталей и сталей с повышенным содержанием углерода, деталей толщиной более 5 мм и только в нижнем положении, отличается большей производительностью, чем левый при сварке сталей толщиной более 5 мм, обеспечивает некоторую термическую обработку сварного соединения.

Подготовка кромок монтажных стыков по возможности должна предусматривать их сварку в горизонтальном нижнем положении (табл. 6.13).

Таблица 6.13

Виды подготовки кромок под газовую сварку стальных деталей

| Виды соединений | Толщина металла, мм | Подготовка кромок для ручной газовой сварки |              |               |              |
|-----------------|---------------------|---|--------------|---------------|--------------|
|                 |                     | левой                                       |              | правой        |              |
|                 |                     | односторонней                               | двусторонней | односторонней | двусторонней |
| Стыковые        | < 2                 |   |              |               |              |
|                 | < 2                 |   |              |               |              |
|                 | 2 – 5               |   |              |               |              |
|                 | 5 – 15              |   |              |               |              |
|                 | > 15                |   |              |               |              |

|          |        |  |  |  |  |
|----------|--------|--|--|--|--|
| Угловые  | < 5    |  |  |  |  |
|          | 5 – 15 |  |  |  |  |
|          | > 15   |  |  |  |  |
| Тавровые | < 3    |  |  |  |  |
|          | 3 -15  |  |  |  |  |
|          | > 15   |  |  |  |  |

### 6.2.4. РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

При расчетах на прочность сварных соединений предполагается, что напряжения в сечениях распределены равномерно. Обычно сварные соединения нагружены силами, действующими параллельно плоскости контакта соединяемых деталей.

Расчет стыковых сварных соединений на прочность производят по номинальному сечению без учета утолщения швов в зависимости от вида действующих нагрузок (рис. 6.10).

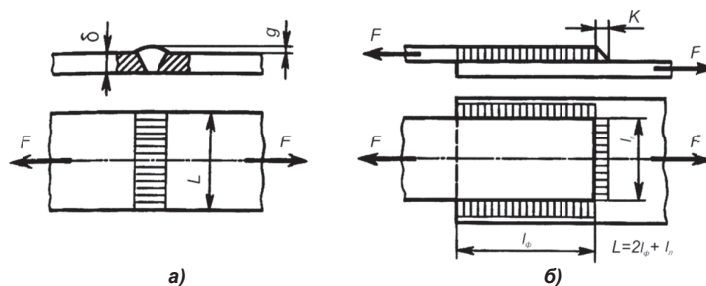


Рис. 6.10. Сварные швы

Прямой сварной стыковой шов (рис 6.10, а) растягивается (сжимается) постоянной силой  $F$ . Допускаемое усилие на шов определяют по формуле

$$F \leq L\delta[\sigma'_p],$$

где  $L\delta$  – площадь поперечного сечения шва; высота шва равна толщине листа –  $h \approx \delta$ ;  $[\sigma'_p]$  – допускаемое напряжение на растяжение в самом шве.

При расчете на сжатие берут допускаемое напряжение на сжатие  $[\sigma'_{сж}]$ , которое обычно превышает допускаемое напряжение на растяжение (таб. 6.14).

*Нахлесточное соединение* (рис 6.10, б) может быть лобовым при перпендикулярном расположении силы  $F$  относительно шва, фланговым при параллельном расположении валика шва и комбинированным при наличии косых швов.

*Угловое соединение* – соединение двух деталей, свариваемые кромки которых расположены под любым углом (чаще  $90^\circ$ ).

*Тавровое соединение* – соединение торцов одной детали с плоскостями других деталей.

Нахлесточное, угловое и тавровое соединения образуются угловым швом (рис. 6.8).

**Соединение угловым швом.** Угловой шов сопровождается действием статической растягивающей силы  $F$  (рис 6.11,б).

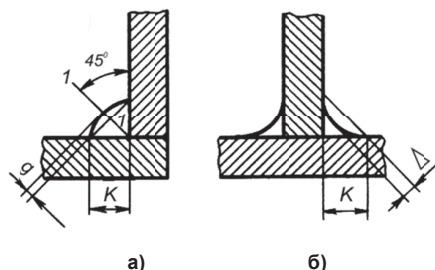


Рис. 6.11. Угловые соединения



Расчет угловых швов всех типов (выпуклых и вогнутых) производят на срез в опасном сечении  $I - I$ , проходящем через биссектрису прямого угла (рис. 6.11, а и б), равнобедренного треугольника без учета выпуклости шва: со стороны  $K = \delta$ . В этом сечении кроме касательных возникают и нормальные напряжения.

Площадь среза при длине шва, равной ширине полосы

$$F_{cp} = b \cdot 0,7\delta,$$

где  $b_{I-I} = \delta \cos 45^\circ \approx 0,7\delta$ .

Полагая, что усилие  $F$  распределяется равномерно по всей длине шва, допускаемое усилие для одностороннего шва

$$F \leq 0,7 \delta b [\tau_{cp}],$$

где  $\delta$  – толщина листа, мм (или величина катета  $K$ );  $b$  – ширина листа (или длина шва), мм;  $[\tau_{cp}]$  – допускаемое напряжение на срез шва (табл. 6.14).

При расчете на сжатие следует подставлять в формулу допускаемое напряжение на сжатие  $[\sigma_{сж}]$ .

При расчетах на прочность (растяжение – сжатие) других сварных угловых соединений применяют ту же расчетную формулу, только вместо  $b$  подставляют суммарную длину всех швов  $L$  и получаем:

$$F \leq 0,7 K L [\tau_{cp}],$$

где  $K = \delta$ , мм;  $L$  – суммарная длина всех швов;  $[\tau_{cp}]$  – допускаемое напряжение на срез шва.

Суммарная длина шва  $L_{\Sigma} = \sum l_i$  – сумме всех отрезков сварного шва. Так, на рис. 6.10, а  $L_{\Sigma} = L + b$ ; на рис. 6.10, б суммарная длина шва  $L_{\Sigma} = 2l_{\phi} + l_a$ ; на рис. 6.12, а –  $L_{\Sigma} = 2l_1 + 2l_2 + 2B$ . Учитывая возможные дефекты швов (непровары в начале шва и по длине и кратеры в конце шва) иногда наращивают фактическую длину отдельных швов на 5...10 мм для обеспечения прочности соединения.

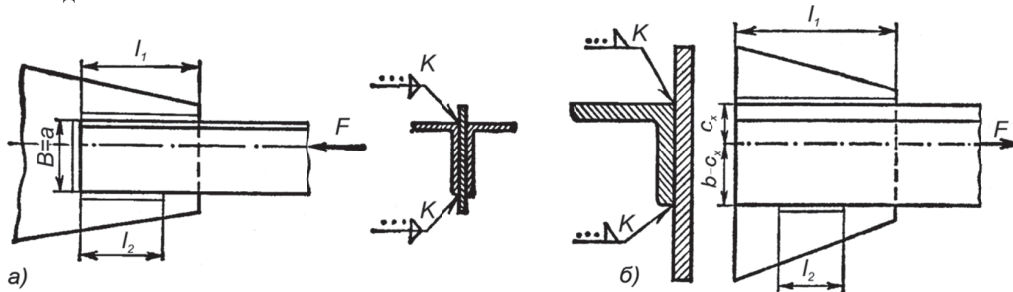


Рис. 6.12. Схема определения суммарной длины сварных швов

При соединении конструкций фланговыми швами с деталями несимметричного профиля (уголки, швеллеры), привариваемых посредством косынок (рис. 6.12, б), общую длину швов  $l_1$  и  $l_2$  принимают равными произведению суммарной длины шва  $L_{\Sigma}$  на размер, обратно пропорциональный расстояниям от фланговых швов до линии центров тяжести несимметричного профиля сечения детали:

$$l_1 = L_{\Sigma}(b - C_x)/b \text{ и } l_2 = L_{\Sigma} C_x/b.$$

**Допускаемое напряжение для сварных швов.** При расчете машиностроительных конструкций из низкоуглеродистых, среднеуглеродистых и низколегированных сталей допускаемые напряжения для сварных швов при статических нагрузках принимают в зависимости от допускаемого напряжения на растяжение основного металла  $[\sigma_p]$  (табл. 6.14).

Таблица 6.14

| Допускаемое напряжение для основного металла  |                             |                            |                         |
|---|-----------------------------|----------------------------|-------------------------|
| Метод сварки                                  | При растяжении $[\sigma_p]$ | При сжатии $[\sigma_{сж}]$ | При срезе $[\tau_{cp}]$ |
| Автоматическая, ручная электродами Э42А, Э50А | $[\sigma_p]$                | $[\sigma_p]$               | $0,65[\sigma_p]$        |
| Электродами обыкновенного качества Э42, Э50   | $0,9[\sigma_p]$             | $[\sigma_p]$               | $0,6[\sigma_p]$         |
| Электродами Э34 с ионизирующим покрытием      | $0,6[\sigma_p]$             | $0,75[\sigma_p]$           | $0,5[\sigma_p]$         |

Значение  $[\sigma_p]$  получают из зависимости  $[\sigma_p] = \sigma_T / [n]$ , где  $\sigma_T$  – предел текучести для основного металла (свариваемых деталей), МПа;  $[n]$  – коэффициент запаса прочности,  $[n] = 1,3 \dots 1,6$  для низкоуглеродистых сталей,  $[n] = 1,5 \dots 1,7$  для низколегированных сталей. Меньшие значения  $[n]$  рекомендуются для малоответственных соединений и при легких режимах работы, а большие – в ответственных соединениях и при тяжелых условиях работы (табл. 6.15).

Таблица 6.15

| Предел текучести для основного металла ( $\sigma_T$ ) (выборка) |           |           |     |          |          |          |
|---|-----------|-----------|-----|----------|----------|----------|
| Марка стали   | Ст3       | Ст4       | Ст5 | Сталь 30 | Сталь 35 | Сталь 45 |
| $\sigma_T$ , МПа  | 235...216 | 255...235 | 255 | 294      | 250      | 280      |

**Пример.** Определить длину фланговых швов, обеспечивающих прочность соединения равнополочного (разнобокого) уголка и косынки (рис. 6.12, б), если размеры поперечного сечения уголка (его профиль): а)  $70 \times 70 \times 6$ , б)  $50 \times 50 \times 4$ ; материал – сталь Ст3. Сварка ручная электродом Э42.

*Вычисление*

По табл. 6.10 для равнополочного (равнобокого) уголка профиля  $70 \times 70 \times 6$  принимаем  $b = 70$  мм,  $t = 6$  мм,  $S_L = 813$  мм<sup>2</sup>,  $C_x = 19,3$  мм.

Вычисляем допускаемое напряжение при растяжении основного материала, принимая по табл.6.15 для стали Ст3  $\sigma_T = 225$  МПа и  $[n] = 1,45$ :

$$[\sigma_p] = \sigma_T / [n] = 225 / 1,45 = 155 \text{ МПа.}$$

Исходя из уравнения прочности уголка на растяжение  $\sigma_p = F / S_L \leq [\sigma_p]$ , определяем допускаемое значение растягивающей силы:

$$[F] = \sigma_p S_L = 155 \cdot 813 = 126 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

По этой силе производим вычисление условия равнопрочности уголка на растяжение и шва на срез.

С помощью табл.6.14 вычисляем допускаемое напряжение шва при срезе:

$$[\tau_{ср}] = 0,6 [\sigma_p] = 0,6 \cdot 155 = 93 \text{ МПа.}$$

Из уравнения прочности швов

$$\tau_{ср} = F / (0,7kL) \leq [\tau_{ср}]$$

определяем их суммарную длину, принимая  $k = t = 6 \text{ мм}$ :

$$L \geq F / (0,7k [\tau_{ср}]) = 125 \cdot 10^3 / (0,7 \cdot 6 \cdot 10^3 \cdot 93 \cdot 10^6) = 0,32 \text{ м.}$$

По формулам  $l_1 = L_{\Sigma}(b - C_x)/b$  и  $l_2 = L_{\Sigma} C_x/b$ ,

при  $b = 70 \text{ мм}$  и  $C_x = 19,3 \text{ мм}$  определяем  $l_1$  и  $l_2$

$$l_1 = L_{\Sigma}(b - C_x)/b = 320(70 - 19,3)/70 = 231 \text{ мм;}$$

$$l_2 = L_{\Sigma} C_x/b = 320 \cdot 19,3/70 = 89 \text{ мм.}$$

Учитывая возможность технологических дефектов сварки, окончательно принимаем  $l_1 = 240 \text{ мм}$ ,  $l_2 = 100 \text{ мм}$ .

## 6.2.5. СТЕРЖНЕВЫЕ КОНСТРУКЦИИ

В сварных конструкциях чаще всего встречаются следующие виды деталей: фермы из стержней, работающих на растяжение или сжатие (на продольный изгиб), балки и стойки. Для каждого из этих видов деталей применяют определенные проверенные опытом методы расчета и конструкции сварных соединений.

Стержни соединяются в узловых точках посредством косынок.

Стержни, работающие на сжатие, изготавливаются из профилей с малой площадью сечения и большим моментом инерции, т. е. из угольников, двутавров, швеллеров.

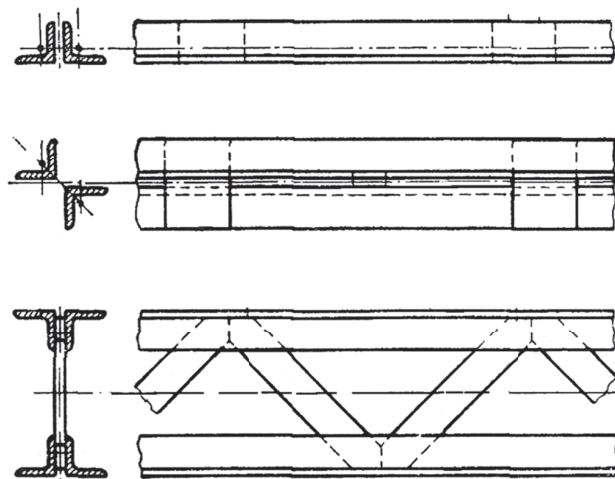


Рис. 6.13. Составные стержни для фермы

В зависимости от расположения применяют стержни цельные, состоящие из таврового, двутаврового или швеллерного профиля. Могут быть применены составные стержни из двух профилей (углового, двутаврового, таврового или швеллерного), соединенных рядом соединительных швов, а также сложносоставные (рис. 6.13), изготовленные из двух или нескольких цельных стержней, взаимно связанных накладками или косынками. Стержни ферм должны быть соединены таким образом, чтобы линии центров тяжести стержней пересекались в одной точке на косынке (рис. 6.14).

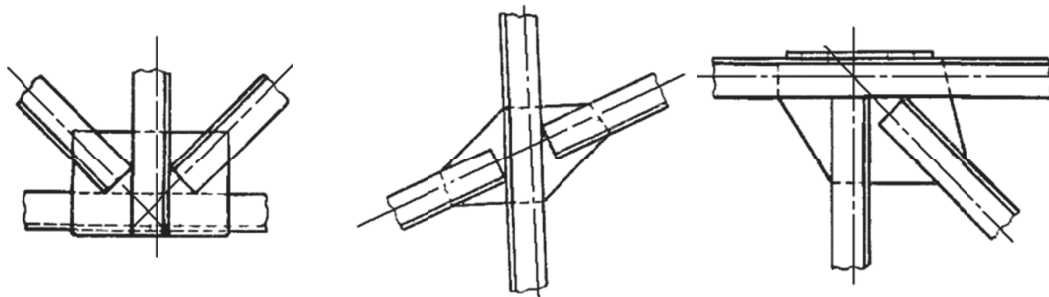


Рис. 6.14. Соединение профилей в узел с помощью косынки с учетом их центров тяжести

Если угольник присоединен только одной своей полкой, то длина угольника, привариваемого к косынке, должна быть трехкратно или двухкратно ширине полки.

## 5.2.6. УСЛОВНЫЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЯ ШВОВ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Шов сварного соединения, независимо от способа сварки, условно изображают:

*видимый* – сплошной основной линией (рис. 6.15, а);

*невидимый* – штриховой линией (рис. 6.15, б).

Вспомогательные знаки для обозначения сварных швов – в табл. 6.16.

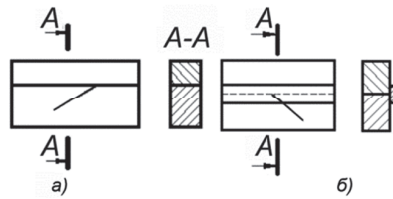


Рис. 6.15. Условное изображение видимого (а) и невидимого (б) швов:  
а – сплошная линия; б – пунктир

Таблица 6.16

Вспомогательные знаки для обозначения сварных швов

| Вспомогательный знак | Значение вспомогательного знака   | Расположение вспомогательного знака относительно полки линии-выноски, проведенной от изображения шва |                     |
|----------------------|---|--|---------------------|
|                      |   | с лицевой стороны  | с оборотной стороны |
|                      | Усиление шва снять  |  |                     |
|                      | Наплывы и неровности обработать с плавным переходом к основному металлу                             |  |                     |
|                      | Шов выполнить при монтаже изделия, т.е. при установке его по монтажному чертежу на месте применения |  |                     |
|                      | Шов прерывистый или точечный с цепным расположением. Угол наклона линии ~60°                        |  |                     |
|                      | Шов прерывистый или точечный с шахматным расположением  |  |                     |
|                      | Шов по замкнутой линии. Диаметр знака – 3...5 мм  |  |                     |
|                      | Шов по незамкнутой линии. Знак применяют, если расположение шва ясно из чертежа                     |  |                     |

**Примечания:**

1. За лицевую сторону одностороннего шва сварного соединения принимают сторону, с которой производят сварку.
2. За лицевую сторону двустороннего шва сварного соединения с несимметрично подготовленными кромками принимают сторону, с которой производят сварку основного шва.
3. За лицевую сторону двустороннего шва сварного соединения с симметрично подготовленными кромками может быть принята любая сторона.

Структура условного обозначения стандартного шва или одиночной сварной точки приведена на схеме (рис. 6.16).

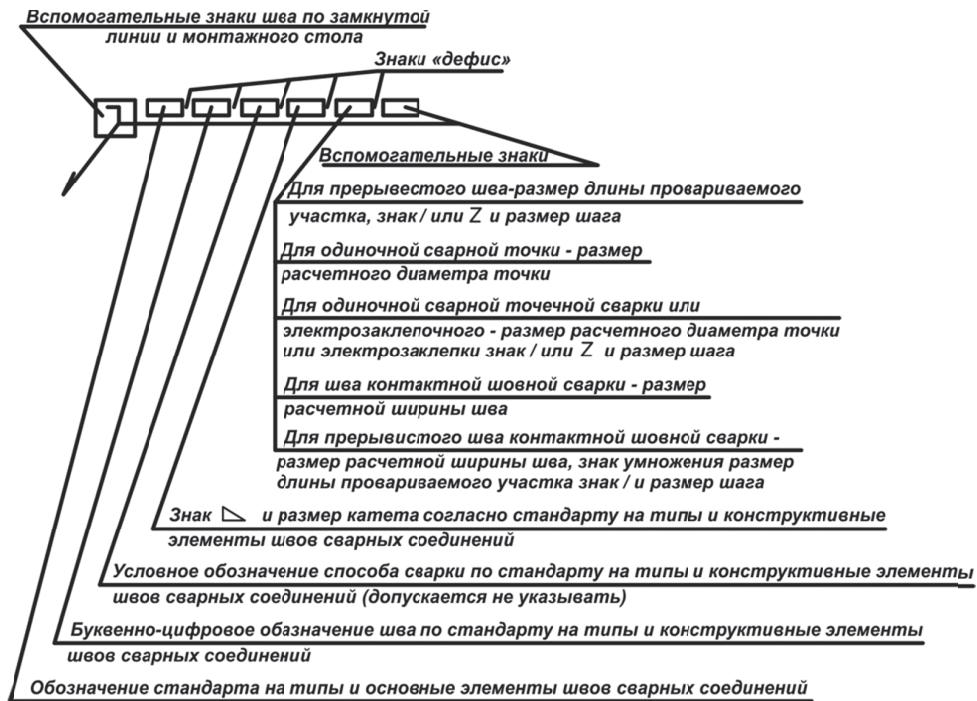


Рис. 6.16. Схема структуры условного обозначения стандартного шва

В технических требованиях чертежа или таблицы швов указывают способ сварки, которым должен быть выполнен нестандартный шов (табл. 6.17).

Таблица 6.17

Условные обозначения способов сварки

| Обозначение | Способ сварки     | Обозначение | Способ сварки      |
|-------------|-------------------|-------------|--------------------|
| Э           | Дуговая           | К           | В инертных газах   |
| Ш           | Электрошлаковая   | Р           | Ручная             |
| Г           | Газовая           | П           | Механизированная   |
| У           | В углекислом газе | А           | Автоматизированная |

Примечание. При необходимости обозначение способа сварки указывают на полке линии-выноски первым.

Условное обозначение шва наносят:

- на полке линии-выноски, проведенной от изображения шва с лицевой стороны (рис. 6.17, а);
- под полкой линии-выноски, проведенной от изображения шва с оборотной стороны (рис. 6.17, б).

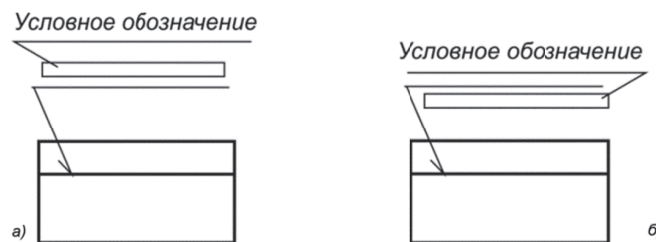
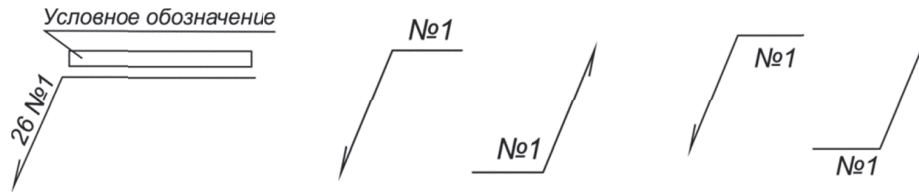


Рис. 6.17. Условное обозначение сварного шва:  
а) с лицевой стороны; б) с оборотной стороны

При наличии на чертеже одинаковых швов обозначение наносится у одного из изображений, от изображений остальных одинаковых швов проводят линии-выноски с полками. Всем одинаковым швам присваивают одинаковый номер, который наносят:

- на линии-выноске, имеющей полку с нанесенным обозначением шва (рис. 6.18, а);
- на полке линии-выноски, проведенной от изображения шва, не имеющего обозначения, с лицевой стороны (рис. 6.18, б);
- на полке линии-выноски, проведенной от изображения шва, не имеющего обозначения, с оборотной стороны (рис. 6.18, в).

Количество одинаковых швов допускается указывать на линии-выноске, имеющей полку с нанесенным обозначением шва (рис. 6.18, а).



Примечание. Швы считаются одинаковыми, если: а) одинаковы их типы и размеры конструктивных элементов в поперечном сечении; б) к ним предъявляются одни и те же требования.

Рис. 6.18. Обозначение одинаковых швов

**Упрощенное обозначение швов сварных соединений.** При наличии на чертеже швов, выполненных по одному и тому же стандарту, обозначение стандарта указывают в технических требованиях чертежа (запись по типу: "Сварные швы ... по ...") или таблице.

Допускается не присваивать порядковый номер одинаковым швам, если все швы на чертеже одинаковы и изображены с одной стороны (лицевой или обратной). При этом швы, не имеющие обозначения, отмечают линиями-выносками без полок (рис. 6.19).



Рис. 6.19. Обозначение швов с помощью линий-выносок

На чертеже симметричного изделия, при наличии на изображении оси симметрии, допускается отмечать линиями-выносками и изображать швы только на одной из симметричных частей изображения изделия.

На чертеже изделия, в котором имеются одинаковые составные части, привариваемые одинаковыми швами, эти швы допускается отмечать линиями-выносками и обозначать только у одного из изображений одинаковых частей (предпочтительно у изображения, от которого проведена линия-выноска с номером позиции).

Допускается не отмечать на чертеже швы линиями-выносками, а приводить указания о сварке записью в технических требованиях чертежа, если эта запись однозначно определяет места сварки, способы сварки, типы швов сварных соединений и размеры их конструктивных элементов в поперечном сечении и расположение швов.

Одинаковые требования ко всем швам или группе швов приводят один раз – в технических требованиях или таблице швов.

Знак  выполняют сплошными тонкими линиями. Высота знака должна быть одинаковой с высотой цифр, входящих в обозначение шва.

В табл. 6.18 даны примеры условных обозначений швов сварных соединений.

Таблица 6.18

Примеры условных обозначений швов сварных соединений

| Форма поперечного сечения шва  | Условное обозначение шва, изображенного на чертеже                                  |   |
|--|---|---|
|  | с лицевой стороны   | с оборотной стороны   |
|   |  |  |
| Характеристика шва. Шов стыкового соединения с криволинейным скосом одной кромки, двусторонний, выполняемый дуговой ручной сваркой при монтаже изделия; усиление снято с обеих сторон. Параметр шероховатости шва: – с лицевой стороны – Rz 20 мкм; – с оборотной стороны Rz 80 мкм. |   |   |
|   |  |  |
| Характеристика шва. Шов углового соединения без скоса кромок, двусторонний, выполняемый автоматической сваркой под флюсом по замкнутой линии.  |   |   |



|  |   |   |
|--|---|---|
|   |  |  |
| <p>Характеристика шва. Шов соединения внахлестку без скоса кромок, односторонний, выполняемый дуговой полуавтоматической сваркой в защитных газах плавящимся электродом. Шов по незамкнутой линии. Катет шва 5 мм.</p>   |   |   |
|   |  |  |
| <p>Характеристика шва. Шов таврового соединения без скоса кромок, двусторонний, прерывистый с Z – шахматным расположением, выполняемый дуговой ручной сваркой в защитных газах неплавящимся металлическим электродом по замкнутой линии. Катет шва 6 мм. Длина провариваемого участка 50 мм. Шаг 100 мм.</p> |   |   |

### 6.3. СОЕДИНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ С ГАРАНТИРОВАННЫМ НАТЯГОМ

Соединение деталей с гарантированным натягом – неподвижное соединение деталей, у которых перед сборкой наружный размер охватываемой детали больше соответствующего внутреннего размера охватывающей детали. Упругие свойства соединяемых деталей вызывают силы сопротивления растяжению-сжатию материалов, которые, преодолевая трение и неровности контактирующих поверхностей, создают гарантированный натяг, обеспечивая прочность соединения.

Соединения деталей, которые передают рабочие нагрузки при гарантированном натяге, могут быть с цилиндрическими и коническими поверхностями.

Соединения деталей по посадке с гарантированным натягом имеют преимущественное распространение. Следует отметить, что эти соединения занимают промежуточное положение между неразъемными и разъемными соединениями, так как допускают нечастую разборку, нарушая целостность составных частей изделия. Следует учесть, что разборка соединения с гарантированным натягом изменяет свойства соединения.

Нагрузочная способность соединений с гарантированным натягом определяется преимущественно величиной натяга, который определяется выбором посадок для соединяемых деталей. Посадка определяет степень относительной подвижности (без напряженности соединения) или неподвижности (с напряженностью соединения) соединяемых деталей.

По размеру зазоров и натягов различают ряд посадок, подразделяющихся на три большие группы: посадки с натягом – обеспечивают натяг в соединении (поле допуска отверстия расположено под полем допуска вала).

Рекомендуемые посадки Н7/р6; Н7/т6; Н7/с7; переходные посадки – возможен натяг или зазор (поля допусков отверстия или вала перекрываются частично или полностью); посадки с зазором – обеспечивают зазор в соединении (поле допуска отверстия расположено над полем допуска вала) (рис. 6.20).

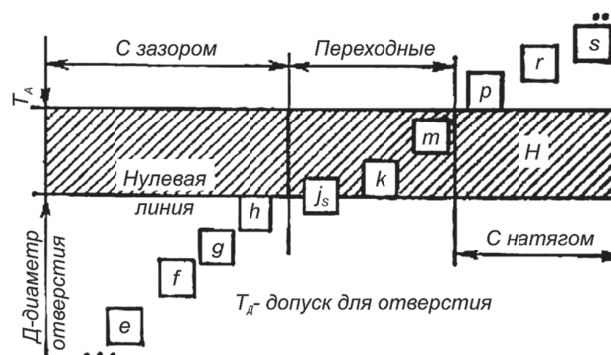


Рис. 6.20. Поля допусков для обеспечения посадок с натягом

Следовательно, для соблюдения условия создания натяга разность между размерами вала – В и отверстия – О должна быть больше нуля, т.е.  $V - O = H > 0$ .

Создание натяга должно учитывать упругие свойства соединяемых деталей. Если свойства материала детали не будут учтены, то возможны случаи, когда посадка не может быть реализована по условию прочности деталей.

Достоинства таких соединений в простоте и технологичности конструкции за счет отсутствия соединительных деталей, в обеспечении хорошего центрирования соединяемых деталей, в возможности применения при очень больших осевых нагрузках и вращающих моментах и в высокой надежности при ударных нагрузках.

Основные недостатки этих соединений – возможная неконтролируемая потеря упругости соединяемых деталей, ограниченность несущей способности при вибрационных нагрузках и падение несущей способности соединения после разборки. Характерными примерами применения соединений с гарантированным натягом являются колесные пары и бандажи железнодорожного подвижного состава (рис. 6.21, а), ступицы и венцы зубчатых и червячных колес (рис. 6.21, б), крепление на валу неподвижных колец подшипников качения (рис. 6.21, в, где показана подшипниковая посадка).

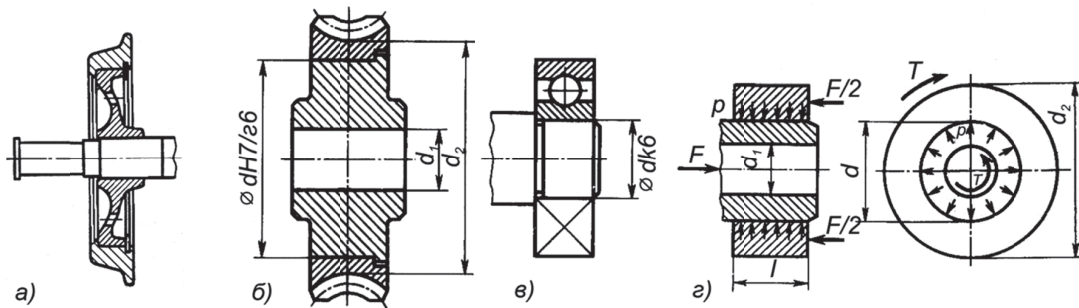


Рис. 6.21. Примеры прессовых соединений деталей

Соединения с гарантированным натягом могут быть выполнены тремя способами: продольной сборкой путем запрессовки осевой силой (рис. 6.21, з); поперечной сборкой с помощью нагрева или охлаждения одной из деталей до состояния, при котором они свободно соединяются; комбинированной, например, гидропрессовой сборкой, при которой одновременно с действием осевого усилия в зону контакта сопрягаемых деталей подается масло под высоким давлением для получения необходимой поперечной деформации. Из этих трех способов наиболее доступным и наименее совершенным является первый – запрессовка, так как при нем неизбежно повреждение контактных поверхностей, нарушение микрогеометрии их поверхности и, как следствие, снижение нагрузочной способности соединения, которое обычно называют прессовым.

**Расчет на прочность прессовых соединений.** В результате сборки прессового соединения за счет натяга на сопрягаемых поверхностях возникают контактные давления  $p$  (рис. 6.21, з), которые полагаем равномерно распределенными по поверхности контакта. Если на конструкцию действует осевая сила  $F$  и вращающий момент  $T$ , то на сопрягаемых поверхностях возникнут силы трения, которые должны исключить относительное смещение деталей соединения. Пользуясь принципом независимости действия сил, можем написать условия равновесия:

$$F \leq \pi d l p f, \quad T \leq 0,5 \pi d l p f,$$

где  $f$  – коэффициент трения (табл. 6.19).

Т а б л и ц а 6.19

| Материал               | Коэффициент трения (сцепления) $f$ при посадках с натягом |                 |                               |
|------------------------|---|-----------------|-------------------------------|
|                        | Сборка прессованием                                       |                 | Сборка нагревом (охлаждением) |
|                        | при сцеплении   | при запрессовке |                               |
|                        | коэффициент трения (сцепления) $f$                        |                 |                               |
| Сталь – сталь          | 0,08  | 0,20            | 0,14                          |
| Сталь – чугун          | 0,08  | 0,14            | 0,12÷0,14                     |
| Сталь – бронза, латунь | 0,05  | 0,10            | 0,07                          |
| Чугун – бронза, латунь | 0,05  | 0,08            | 0,07                          |

Из вышеуказанных условий равновесия определим минимально необходимые значения контактного давления

$$p_{\min} = F / (\pi d l f), \quad p_{\min} = 2T / (\pi d 2l f).$$

Если осевая сила  $F$  и вращающий момент  $T$  действуют одновременно, то расчет ведут по равнодействующей  $R$  осевой и окружной силы

$$F_t = 2T/d, \text{ т.е.} \\ R = \sqrt{F^2 + F_t^2}$$

тогда

$$p_{\min} = R / (\pi d l f).$$

В зависимости от ответственности соединения соединения полученное минимально необходимое значение  $p_{\min}$  увеличивают, умножая его на коэффициент запаса сцепления  $K=1,5...3$ .

Если в соединении предусмотрена призматическая шпонка, то  $K=1,3...1,5$ .

По найденному расчетному контактному давлению  $p = K p_{\min}$  определяем расчетный натяг  $Np$ ,

$$Np = pd(C_1/E_1 + C_2/E_2),$$

где  $C_1 = (d^2 + d_1^2) / (d^2 - d_1^2) - \nu_1$ ;  $C_2 = (d_2^2 + d^2) / (d_2^2 - d^2) + \nu_2$ ;

$E_1, \nu_1$  и  $E_2, \nu_2$  – модули упругости и коэффициенты Пуассона соответственно для материалов охватываемой и охватываемой деталей (табл. 6.20).

Размеры  $d, d_1$  и  $d_2$  показаны на рис. 6.21; если охватываемая деталь сплошная, то  $d_1 = 0$ .

Модуль упругости  $E$ , коэффициент Пуассона  $\nu$ , температурный коэффициент линейного расширения  $\alpha$  °С материала деталей

| Материал                      | $E$ , МПа                   | $\nu$ | $\alpha$ °С        |
|-------------------------------|-----------------------------|-------|--------------------|
| Сталь                         | $2,1 \cdot 10^5$            | 0,3   | $12 \cdot 10^{-6}$ |
| Чугун                         | $(1,0 \div 1,5) \cdot 10^5$ | 0,25  | $10 \cdot 10^{-6}$ |
| Бронза оловянистая            | $0,8 \cdot 10^5$            | 0,35  | $19 \cdot 10^{-6}$ |
| Бронза безоловянистая, латунь | $1,0 \cdot 10^5$            | 0,35  | $19 \cdot 10^{-6}$ |

Учитывая возможное нарушение микрогеометрии (огранки) контактных поверхностей при сборке прессового соединения, полученное значение расчетного натяга  $N_p$  увеличивают на поправку на срезание и сглаживание микронеровностей (шероховатости),

$$u = 1,2(R_{z1} + R_{z2}) \text{ или } u = 5,5(R_{a1} + R_{a2})$$

где  $R_{z1}$  и  $R_{z2}$ ,  $R_{a1} + R_{a2}$  – высоты микронеровностей; тогда требуемый натяг

$$N_T = N_p + u$$

(если сборку выполняют нагреванием или охлаждением деталей, то  $u = 0$ ).

По величине требуемого натяга  $N_T$  подбирают рекомендуемую ближайшую посадку с наименьшим натягом, при котором  $N_T \approx N_{min}$ .

Наибольший расчетный натяг, соответствующий выбранной посадке

$$N_{\delta,p} = N_{\delta} - u.$$

Максимальное давление  $p$ , которое может возникнуть на контактной поверхности соединяемых деталей

$$p = N_{\delta,p} / [d(C_1/E_1 + C_2/E_2)] \quad (1)$$

Эквивалентное напряжение охватывающей детали из упругого материала

$$\sigma_{эке} = 2p[1 - (d_1/d_2)^2] \leq [\sigma_p] \quad (2)$$

Формулы (1) и (2) применимы только при натягах в области упругих деформаций.

### 6.3.1. СБОРКА ПРЕССОВОГО СОЕДИНЕНИЯ С НАГРЕВОМ ОХВАТЫВАЮЩЕЙ ИЛИ ОХЛАЖДЕНИЕМ ОХВАТЫВАЕМОЙ ДЕТАЛИ

Разность температур охватываемой и охватывающей детали, при которой достигается свободное их сопряжение во время сборки, определяют по формуле

$$t = \frac{N_{max} + \delta_0}{\alpha d},$$

где  $N_{max}$  – наибольший натяг выбранной посадки, мкм;  $\delta_0$  – зазор, необходимый для свободного соединения деталей, принимаемый равным

$$\delta_0 = 10 \text{ мкм при } d = 30 \div 80 \text{ мм,}$$

$$\delta_0 = 15 \text{ мкм при } d > 80 \div 180 \text{ мм и}$$

$$\delta_0 = 20 \text{ мкм при } d > 180 \div 400 \text{ мм,}$$

где  $d$  – номинальный диаметр соединяемых поверхностей; мм;  $\alpha$  – коэффициент линейного расширения нагреваемой или охлаждаемой детали,  $\alpha \cdot 10^{-6}$  °С

Для случая, когда особо важна прессовая посадка толстостенной втулки (ступицы) на сплошной вал, предельный наибольший натяг  $N_{пред}$  можно определить из условия прочности втулки по формуле

$$N_{пред} = \frac{[\sigma_p] d}{E}$$

где  $[\sigma_p] = \frac{\sigma_T}{[s]}$  – допускаемое напряжение для втулки,  $\sigma_T = 240$  МПа;

$[s]$  – допускаемый коэффициент запаса прочности,  $E$  – модуль упругости, для стальной толстостенной втулки  $E = 2 \cdot 10^5$  МПа,  $[s] = 1,2$ .

**Пример.** Цилиндрическое соединение с натягом – соединение венца червячного колеса со ступицей колеса, при следующих данных (рис. 6.21, а); диаметр посадочной поверхности  $d = 250$  мм, длина посадочной поверхности  $l = 60$  мм, диаметр отверстия для вала в центре колеса  $d_1 = 80$  мм, диаметр впадин зубчатого венца  $d_2 = 280$  мм, крутящий момент, передаваемый червячным колесом,  $T = 400$  Н·м. Материал венца – бронза Бр. АЖ9-4Л (отливка в кокиль). Материал ступицы колеса – чугунок литье СЧ15.

*Вычисление*

Определим необходимое давление  $p_{min}$  на поверхности контакта венца с центром колеса, приняв коэффициент трения между ними  $f = 0,05$ :

$$p_{min} = 2T / (\pi d^2 l f) = 2 \cdot 400 / (0,05 \cdot 0,25^2 \cdot 0,06) = 1,35 \text{ МПа.}$$

Для вычисления требуемого расчетного натяга  $N_p$  соединения при  $\nu_1 = 0,25$ ;  $\nu_2 = 0,35$

$$N_p = pd(C_1/E_1 + C_2/E_2),$$

$$C_1 = (d^2 + d_1^2) / (d^2 - d_1^2) - \nu_1 = (80^2 + 250^2) / (250^2 - 80^2) - 0,25 = 0,98$$

$$C_2 = (d_2^2 + d^2) / (d_2^2 - d^2) + \nu_2 = (250^2 + 280^2) / (280^2 - 250^2) + 0,35 = 9,85$$

Модули упругости для чугуна  $E_1 = 1,3 \cdot 10^5$  МПа, для бронзы  $E_2 = 1,1 \cdot 10^5$  МПа.

Расчетный натяг соединения

$$N_p = p_{min} d(C_1/E_1 + C_2/E_2) = 1,35 \cdot 0,25 [0,98 / (1,3 \cdot 10^5) + 9,85 / (1,1 \cdot 10^5)] = 34 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 34 \text{ мкм.}$$

Обработку контактных поверхностей зубчатого венца и центра колеса назначаем с высотами неровностей  $R_{z1} = R_{z2} = 10$  мкм.

Действительный натяг соединения

$$N_T = N_p + 1,2(R_{z1} + R_{z2}) = 34 + 1,2(10 + 10) = 58 \text{ мкм.}$$

По полученному значению  $N_T$  подбираем соответствующую стандартную посадку. Из таблицы допусков и посадок для данного соединения примем посадку  $\text{Ø} 250 \text{ Н}7/s7$  с наименьшим натягом  $N_{\text{н}} = 68$  мкм и наибольшим натягом  $N_{\text{б}} = 186$  мкм. Наибольший расчетный натяг, соответствующий выбранной посадке

$$N_{6,p} = N_6 - 1,2(R_{z1} + R_{z2}) = 186 - 1,2(10+10) = 162 \text{ мкм.}$$

Максимальное давление  $p$ , которое может возникнуть на контактной поверхности соединяемых деталей, по формуле (1)

$$p = N_{6,p} / [d(C_1/E_1 + C_2/E_2)] = 162 \cdot 10^{-6} / \{0,25 [0,98/(1,3 \cdot 10^5) + 9,85/(1,1 \cdot 10^5)]\} = 6,5 \text{ МПа.}$$

Проверим венец червячного колеса на прочность. Примем с некоторым приближением, что материал венца пластичен и одинаково работает на растяжение и сжатие; при этом применима третья теория прочности. Эквивалентное напряжение венца по формуле (2)

$$\sigma_{\text{экв}} = 2p/[1 - (d_1/d_2)^2] = 2 \cdot 6,5/[1 - (0,25/0,28)^2] = 65 \text{ МПа.}$$

Такое напряжение вполне допустимо (оно ориентировочно в 2,5...3 раза ниже условного предела текучести для бронзы Бр.АЖ9-4Л при отливке в кокиль).

### 6.3.2. СОЕДИНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ С КОНИЧЕСКИМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ

В конических соединениях натяг создают осевым смещением ступицы относительно вала. Так как упорный бурт на валу не выполняют, в конических соединениях не может быть обеспечена осевая точность фиксации ступицы на валу. Для обеспечения хорошего центрирования соединяемых деталей без перекоса отношение длины соединения к наибольшему диаметру должно составлять  $l/d > 0,7$ .

Относительная простота безударной сборки и демонтажа, высокая надежность при действии радиальных сил и опрокидывающих моментов является достоинством конических соединений особенно для консольных участков валов редукторов и электродвигателей (рис. 6.22).

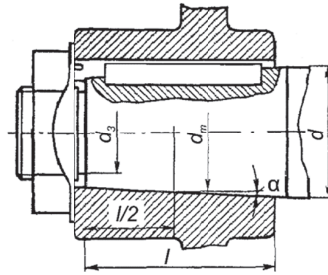


Рис. 6.22. Коническое соединение деталей с гарантированным натягом

В соответствии с ГОСТ 12081-72 конусность концов валов принимают

$$K = (d - d_1)/L = 2 \operatorname{tg} \alpha = 0,1.$$

Относительное осевое смещение ступицы и вала осуществляют гайкой.

Осевое усилие  $F$ , создаваемое гайкой, и давление на сопряженную поверхность связаны зависимостью

$$p = \frac{F}{\pi d_m l (f + \operatorname{tg} \alpha) \cos \alpha}.$$

В связи с разбросом в значениях коэффициента трения  $f$  и сложностью контроля усилия затяжки гайки рассматриваемое коническое соединение применяют в сочетании с призматической шпонкой, повышающей надежность соединения.

Осевое усилие  $F$ , необходимое для передачи крутящего момента  $T$  (Н·м), определяют по формуле

$$F \geq \frac{2 \cdot 10^3 \lambda T \cos \alpha (f + \operatorname{tg} \alpha)}{fd},$$

где  $\lambda = 1,3$  — коэффициент запаса сцепления.

Учитывая допускаемое напряжение  $[\sigma_p]$  для наименьшего сечения  $d_3$  (рис. 6.22), найдем осевую силу

$$F = \frac{\pi d_3^2 [\sigma_p]}{4},$$

где  $[\sigma_p] = \sigma_T / [s]$  — допускаемое напряжение и  $\sigma_T$  — предел текучести для материала вала;  $[s]$  — допускаемый коэффициент запаса прочности; при контролируемой затяжке принимают  $[s] = 1,5 \div 2,2$  для валов из углеродистой стали;  $[s] = 2 \div 3$  — из легированной стали; при неконтролируемой затяжке для  $d_3 \leq 30$  мм приведенные значения  $[s]$  необходимо увеличить в два раза.

$$\sigma_p = \frac{F}{S_p} = \frac{4F}{\pi d_3^2} \leq [\sigma_p],$$

где  $F$  — осевое усилие, создаваемое гайкой, эквивалентное продольной силе;

$$S_p = \frac{\pi d_3^2}{4} \text{ — расчетная площадь поперечного сечения шейки резьбы } d_3.$$

Допускаемый крутящий момент

$$[T] \leq \frac{\pi d_3^2 [\sigma_p] f d}{8 \cdot 10^{-3} \lambda (f + \operatorname{tg} \alpha) \cos \alpha} = \frac{390 \cdot d_3^2 [\sigma_p] f d}{\lambda (f + \operatorname{tg} \alpha) \cos \alpha}.$$

### 6.4. СОЕДИНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ КЛЕЕВЫЕ

Клеевые соединения деталей — неразъемные соединения составных частей изделия с применением клея. Действие клея основано на образовании межмолекулярных связей между клеевой пленкой и поверхностями склеенных материалов.

Клеевые соединения применяют для соединения металлических, неметаллических и разнородных материалов, причем в настоящее время имеется тенденция к расширению применения этих соединений. Так, например, клеевые соединения применяют в таких ответственных конструкциях, как летательные аппараты и мосты.

Достоинства клеевых конструкций заключаются в возможности соединения практически всех конструкционных материалов в любых сочетаниях, любой толщины и конфигурации, причем обеспечивается герметичность и коррозионная стойкость соединений. В отличие от сварных, клеевые соединения почти не создают концентрации напряжений, не вызывают коробления деталей и надежно работают при вибрационных нагрузках. По сравнению с другими клеевые соединения дешевле, а клеевые конструкции обычно легче других при прочих равных условиях. Недостатки клеевых соединений: сравнительно невысокая прочность, в особенности при неравномерном отрыве, относительно невысокая долговечность некоторых клеев («старение»), низкая теплостойкость, необходимость соблюдения специальных мер по технике безопасности (установка приточно-вытяжной вентиляции); для большинства соединений требуется нагрев, сжатие и длительная выдержка соединяемых деталей.

**Подготовка поверхностей.** Для склеивания деталей требуется механическая и химическая подготовка их поверхностей. Механическую подготовку и пригонку металлических деталей производят на металлорежущих станках или вручную напильником, сложные поверхности подвергают пескоструйной обработке; пластмассовые детали обрабатывают резанием или зачищают наждачной шкуркой. Химическая подготовка заключается в очищении и обезжиривании склеиваемых поверхностей ацетоном, спиртом, бензином или бензолом.

Клей наносят на поверхность кистью или пульверизатором. Прочность клеевого соединения в значительной степени зависит от толщины клеевого слоя, которая в основном определяется вязкостью клея и давлением при склеивании. Рекомендуют толщины клеевого слоя для различных клеев в пределах 0,05–0,25 мм; при толщине клеевого шва 0,5 мм и более прочность соединения значительно снижается. Наибольшее влияние на прочность клеевого соединения оказывает температура эксплуатационного режима, которая для большинства конструктивных клеев рекомендуется в пределах от минус 60° С до плюс 80° С. Типовые режимы склеивания различных материалов синтетическими клеями приведены в табл. 6.22.

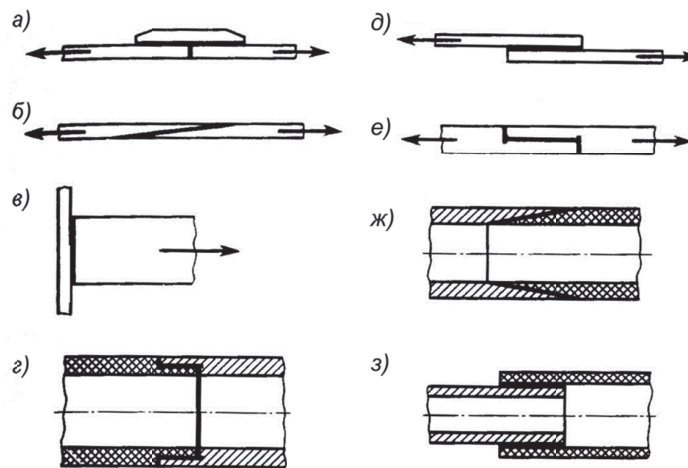


Рис. 6.23. Разновидности клеевых соединений деталей:

а – соединения встык с накладкой; б – с косым стыком; в – стыковое; г – стыковое соединение труб одинакового диаметра; д – внахлестку; е – внахлестку шпунтовое; ж – с косым стыком соединение труб одного диаметра; з – внахлестку (телескопическое) соединение труб разного диаметра

В прочностных клеевых конструкциях наиболее распространены соединения *встык* и соединения *внахлестку*, примеры которых приведены на рис. 6.23.

Таблица 6.22

Типовые режимы склеивания различных материалов синтетическими клеями

| Марка клея          | Температура, °С | Давление, МПа | Выдержка до отверждения, ч |
|---------------------|-----------------|---------------|----------------------------|
| <i>Для металлов</i> |                 |               |                            |
| К-153               | 25              | 0,1–1,5       | 16–20                      |
| БФ-2, БФ-4          | 140–150         | 1,0–2,0       | 1                          |
| ВС-10Т              | 180             | 0,05–0,2      | 1–2                        |
| ВК-32-ЭМ            | 150             | 0,05–0,3      | 3                          |
| ВС-10М              | 180             | 0,3–1,0       | 2–3                        |
| ВК-32-200           | 180             | 1,0–2,0       | 1–2                        |
| П-4                 | 120             | 0,01–0,73     | 4                          |
| ПК-5                | 80              | 0,05–0,3      | 6                          |
| ПУ-2М               | 105             | 0,05–0,3      | 4                          |
| ВС-350              | 200             | 0,1–0,2       | 2                          |
| Карбонильный        | 20              | 0,03–0,05     | 24–30                      |



| Для неметаллических материалов |     |              |       |
|--------------------------------|-----|--------------|-------|
| МАС-1                          | 150 | 0,2–0,3      | 0,5   |
| КТ-15                          | 200 | 0,2–0,3      | 2     |
| К-17                           | 15  | 0,05–0,3     | 6–8   |
| № 88                           | 15  | Без давления | 3     |
| АМК                            | 105 | Без давления | 4     |
| АК-20                          | 18  | Без давления | 8     |
| ВК-32-2                        | 20  | Без давления | 10    |
| К-32-70                        | 65  | 0,1–0,15     | 4     |
| В-31-ф                         | 20  | 0,1–0,3      | 10–12 |
| ПВ-16                          | 20  | 0,1–0,15     | 4     |
| В-107                          | 15  | 0,5–0,3      | 10–12 |
| ВИАМ-БЗ                        | 16  | 0,05–0,5     | 10–12 |
| ВИАМ-К-12                      | 16  | 0,05–0,5     | 8–10  |
| ВИАМ-Ф                         | 18  | 0,05–0,5     | 12–15 |

**Прочность клеевого соединения деталей** зависит от площади склеивания. Наиболее прочными являются соединения, работающие на *сдвиг* или *равномерный отрыв*, когда напряжения по всей площади склеивания можно полагать распределенными равномерно (табл. 6.22).

Таблица 6.22

| Марка клея            | Предел прочности клея (МПа) при |                                 | Примечание                  |
|-----------------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
|                       | срезе (сдвиге) $\tau_b$         | растяжении (разрыве) $\sigma_b$ |                             |
| Карбонильный          | 13...37                         | 13...37                         | Температура от +60 до -60°C |
| Универсальные клеи БФ | 6...10                          | 23...25                         |                             |

При работе на отслаивание (неравномерный отрыв) прочность соединения не определяется площадью склеивания, так как оно будет разрушаться последовательными участками; в таких случаях применяют комбинированные соединения – клеезаклепочные или клеесварные.

При расчете на прочность клеевого шва внахлестку

$$L = \delta[\sigma_p] / [\tau],$$

где  $L$  – размер нахлестки;  $\delta$  – толщина склеиваемых деталей;  $[\sigma_p]$  – допускаемое напряжение на растяжение этих деталей;  $[\tau]$  – допускаемое напряжение на срез клеевого шва.

Расчетные формулы на сдвиг и отрыв для клеевых соединений имеют вид

$$\tau = F / A_k \leq [\tau],$$

$$\sigma_p = F / A_k \leq [\sigma_p],$$

где  $F$  – действующая сила;  $A_k$  – площадь склеивания. Допускаемое напряжение на сдвиг  $[\tau] = \tau_b / [s]$ , а на отрыв  $[\sigma_p] = \sigma_b / [s]$ , где допускаемый коэффициент запаса прочности  $[s] = 1,2 \dots 1,5$ , зависящий от температуры (с ростом температуры значения увеличиваются) и характера нагрузки.

Для распространенных клеев предел прочности при сдвиге  $\tau_b \leq 60$  МПа, предел прочности при растяжении  $\sigma_b \leq 50$  МПа.

## 6.5. СОЕДИНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ПАЙКОЙ. ПРИПОИ И ФЛЮСЫ

Соединение деталей пайкой – неразъемное соединение, заключающееся в том, что неразъемное соединение материалов получают с помощью расплавленного промежуточного металла (припоя), плавящегося при более низкой температуре, чем соединяемые детали.

Соединение материалов происходит в результате диффузии припоя и основного материала путем смачивания, растекания и заполнения зазора между ними расплавленным припоем и сцепления их при кристаллизации шва (рис. 6.24).

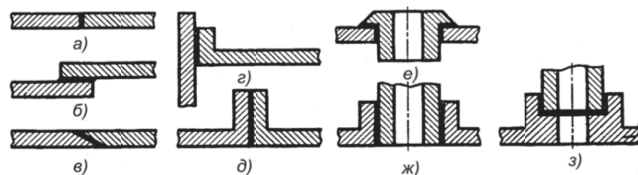


Рис. 6.24. Паяные соединения:

а – встык; б – внахлестку; в – встык со скошенными кромками; г, д – внакладку; е, ж – припайвание фланцев; з – в шпунт

В зависимости от температуры в контакте соединяемых материалов пайка подразделяется на низкотемпературную – до 450 °С и высокотемпературную – выше 450 °С. Нагрев может производиться паяльником, токами высокой частоты, в печах, в пламени газовой горелки и т.д.

### 6.5.1. ПРИПОИ

Припои характеризуются температурой начала и конца плавления (рис. 6.25).

В качестве припоев используются цветные металлы и их сплавы, которые в зависимости от температуры плавления подразделяются на мягкие и твердые.

**Мягкие припой**, имеющие температуру плавления не выше 400-450 °С, обладают невысокой механической прочностью, твердые припой – температура плавления свыше 450 °С – имеют высокую механическую прочность.

В качестве мягких (легкоплавких) припоев применяют оловянно-свинцовые, висмутовые, кадмиевые и другие сплавы. Наиболее низкотемпературные припой содержат индий, висмут и кадмий с температурой плавления 70-145 °С.

Основные материалы мягких припоев – сплавы олова и свинца. Их обозначение (например, ПОС 61) расшифровывается так: П – припой, ОС – оловянно-свинцовый, 61 – содержание олова в процентах. Основные характеристики мягких припоев и область их применения приведены в табл. 6.23 – 6.26.

Таблица 6.23

| Свойства и назначение олова |   |
|-----------------------------|---|
| Марка                       | Характеристика, назначение  |
| ОВ4-000                     | Особочистое, для полупроводниковой техники                                |
| О1 п.ч.                     | В пищевой промышленности, для лужения жести                               |
| О1                          | Для лужения жести, изготовления припоев                                   |
| О2                          | Для изготовления баббитов, припоев, труб, фольги, лужения кухонной утвари |

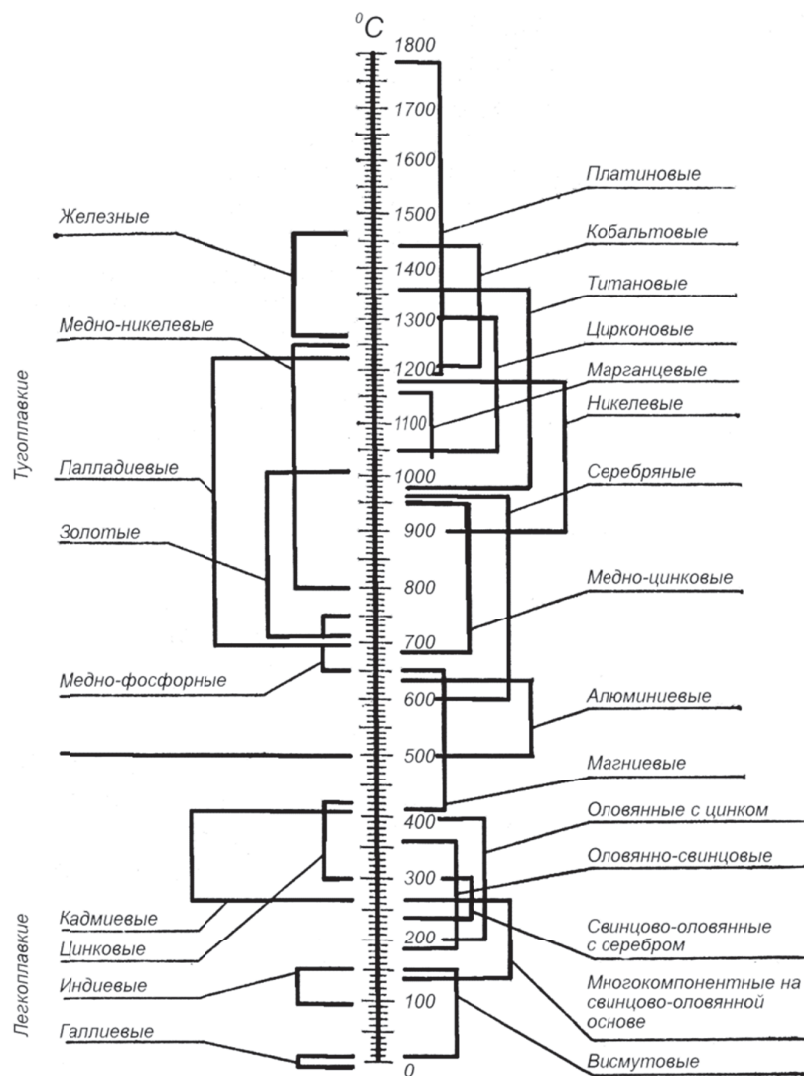


Рис. 6.25. Классификация и виды припоев по температуре плавления

**Твердые припой** выполняют на серебряной основе (например, ПСр 72, где содержание серебра 72 %) или на медно-латунной и медно-никелевой основах. Серебряные припой применяют для пайки черных и цветных металлов, кроме сплавов алюминия и магния, а припой на медной основе – для пайки углеродистых и легированных сталей, никеля и его сплавов. Основные свойства твердых припоев приведены в табл. 6.26.

В качестве твердых (тугоплавких) припоев применяют в основном три вида припоев: медно-цинковые ПМЦ и латунь Л-62, серебряные ПСР и медно-фосфористые марки ПМФ, обладающие хорошей жидкотекучестью и обеспечивающие высокое качество пайки.

Припой оловянно-свинцовые (по ГОСТ 21930–76)

| Марка                   | Температура плавления, °С | Удельное электрическое сопротивление, $\rho \cdot 10^6$ , Ом·м | Теплопроводность, Вт/(м·°С) | $\delta$ , % |
|-------------------------|---------------------------|--|-----------------------------|--------------|
| <i>Бессурьмянистые</i>  |                           |  |                             |              |
| ПОС 90                  | 220                       | 0,120  | 55                          | 40           |
| ПОС 61                  | 190                       | 0,139  | 50                          | 46           |
| ПОС 40                  | 238                       | 0,159  | 42                          | 52           |
| ПОС 10                  | 299                       | 0,200  | 35                          | 44           |
| ПОС 61М                 | 192                       | 0,143  | 49                          | 40           |
| ПОСК 50–18              | 145                       | 0,133  | 55                          | 40           |
| <i>Малосурьмянистые</i> |                           |  |                             |              |
| ПОССу 61–0,5            | 189                       | 0,140  | 50                          | 42           |
| ПОССу 50–0,5            | 216                       | 0,149  | 48                          | 55           |
| ПОССу 40–0,5            | 235                       | 0,169  | 42                          | 50           |
| ПОССу 35–0,5            | 245                       | 0,172  | 42                          | 47           |
| ПОССу 30–0,5            | 255                       | 0,179  | 38                          | 45           |
| ПОССу 25–0,5            | 266                       | 0,182  | 38                          | 45           |
| ПОССу 18–0,5            | 277                       | 0,198  | 35                          | 45           |
| <i>Сурьмянистые</i>     |                           |  |                             |              |
| ПОССу 95–5              | 240                       | 0,145  | 46                          | 46           |
| ПОССу 40–2              | 229                       | 0,172  | 42                          | 48           |
| ПОССу 35–2              | 243                       | 0,179  | 38                          | 40           |
| ПОССу 30–2              | 250                       | 0,182  | 34                          | 40           |
| ПОССу 25–2              | 260                       | 0,185  | 38                          | 35           |
| ПОССу 18–2              | 270                       | 0,206  | 34                          | 35           |
| ПОССу 15–2              | 275                       | 0,208  | 34                          | 35           |
| ПОССу 10–2              | 285                       | 0,208  | 34                          | 30           |
| ПОССу 8–3               | 290                       | 0,207  | 34                          | 43           |
| ПОССу 5–1               | 308                       | 0,200  | 35                          | 40           |
| ПОССу 4–6               | 270                       | 0,208  | 34                          | 15           |

Таблица 6.25

Области применения оловянно-свинцовых припоев

| Марка        | Применение  |
|--------------|---|
| ПОС 90       | Лужение и пайка швов пищевой посуды и медицинской аппаратуры  |
| ПОС 61       | Лужение и пайка электроаппаратуры, точных приборов с высоко герметичными швами, где не допускается перегрев                   |
| ПОС 40       | Лужение и пайка электро-радиоаппаратуры, деталей из оцинкованного железа с герметичными швами                                 |
| ПОС 10       | Лужение и пайка контактных поверхностей электрических аппаратов, приборов, реле   |
| ПОС 61М      | Лужение и пайка медной проволоки, печатных проводников в кабельной промышленности, электро- и радиоэлектронной промышленности |
| ПОСК 50–18   | Пайка деталей, чувствительных к перегреву   |
| ПОССу 61–0,5 | Лужение и пайка электроаппаратуры, обмоток электрических машин, оцинкованных радиодеталей при жестких требованиях к перегреву |
| ПОССу 50–0,5 | Лужение и пайка авиационных радиаторов, пайка пищевой посуды с последующим лужением оловом                                    |
| ПОССу 40–0,5 | Лужение и пайка жести, обмоток электрических машин, пайка радиаторных трубок, холодильных агрегатов, оцинкованных деталей     |
| ПОССу 35–0,5 | Лужение и пайка свинцовых кабельных оболочек, электротехнических изделий неотчетливого назначения                             |
| ПОССу 30–0,5 | Лужение и пайка листового цинка, радиаторов   |
| ПОССу 25–0,5 | Лужение и пайка радиаторов  |
| ПОССу 18–0,5 | Лужение и пайка трубок теплообменников, электрических ламп  |
| ПОССу 95–5   | Пайка трубопроводов, работающих при повышенных температурах   |
| ПОССу 40–2   | Лужение и пайка холодильных установок, тонколистовой упаковки. Припой широкого назначения                                     |
| ПОССу 30–2   | Лужение и пайка в холодильном и электроламповом производстве, абразивная пайка  |
| ПОССу 18–2   | Пайка в автомобилестроении  |
| ПОССу 15–2   |   |
| ПОССу 10–2   |   |
| ПОССу 8–3    | Лужение и пайка в электроламповом производстве  |
| ПОССу 5–1    | Лужение и пайка деталей, работающих при повышенной температуре  |
| ПОССу 4–6    | Пайка белой жести, лужение и пайка деталей с закатанными и клепаными швами из латуни и меди шпатлевка кузовов автомобилей     |

Свойства серебряных припоев по ГОСТ 19738–74

| Марка   | Температура плавления, °С | Удельное электрическое сопротивление, мкОм·см | Плотность, г/см <sup>3</sup> | Марка    | Температура плавления, °С | Удельное электрическое сопротивление, мкОм·см | Плотность, г/см <sup>3</sup> |
|---------|---------------------------|---|------------------------------|----------|---------------------------|---|------------------------------|
| ПСр 72  | 779                       | 2,1   | 10                           | ПСр 15   | 640                       | 20,7  | 8,5                          |
| ПСр 50  | 779                       | 2,5   | 9,3                          | ПСр 40   | 590                       | 7,0   | 9,25                         |
| ПСр 70  | 715                       | 4,1   | 9,8                          | ПСр 37,5 | 725                       | 37,2  | 8,9                          |
| ПСр 65  | 695                       | 8,6   | 9,45                         | ПСр 62   | 650                       | 25,5  | 9,6                          |
| ПСр 45  | 665                       | 10  | 9,1                          | ПСр 23   | 304                       | 20,4  | 11,4                         |
| ПСр 25  | 740                       | 7,7   | 8,7                          | ПСр 2,5  | 295                       | 21,4  | 11                           |
| ПСр 12М | 793                       | 7,4   | 8,3                          | ПСр 2    | 235                       | 16,7  | 9,5                          |
| ПСр 10  | 822                       | 7,3   | 8,4                          | ПСр 1,5  | 273                       | 19,1  | 10,4                         |
| ПСр 71  | 645                       | 4,3   | 9,8                          |          |                           |   |                              |

### 6.5.2. ФЛЮСЫ

Флюсы применяют для повышения качества пайки. Флюсом называют химически активное вещество, которое обладает способностью очищать в месте пайки соединяемые поверхности деталей и припоя от оксидов, предотвращения образования оксидов в процессе пайки, снижения поверхностного натяжения припоя и т. д. Флюс способствует лучшему затеканию расплавленного припоя в зазоры между соединяемыми деталями.

В качестве флюсов применяют смеси солей, растворы некоторых солей, кислот и органических соединений. Роль флюса при пайке могут выполнять также специальные газовые среды. Различают флюсы для легкоплавких и тугоплавких припоев, а также для пайки алюминиевых сплавов, коррозионностойких сталей и чугуна. Флюсы для мягких припоев – это хлористый цинк, нашатырь, канифоль, пасты и др. Флюсы для твердых припоев – это борнокислый натрий (бура), борная кислота и некоторые другие вещества. Большинство флюсов поступает в готовом для применения виде, а хлористый цинк (травленая кислота) готовят из технической соляной кислоты и металлического цинка, беря их в определенном соотношении. Флюсы увеличивают жидкотекучесть припоев при пайке.

Расчет на прочность паяных соединений производят по методике, изложенной для сварных соединений

$$\tau = F/A \leq [\tau_{cp}],$$

где  $A$  – площадь среза припоя.

Допускаемые напряжения на срез для оловянисто-свинцовых припоев  $[\tau_{cp}] = 20 \div 30$  МПа, для медно-цинковых припоев  $[\tau_{cp}] = 175 \div 230$  МПа.

## Глава 7 РАЗЪЕМНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ

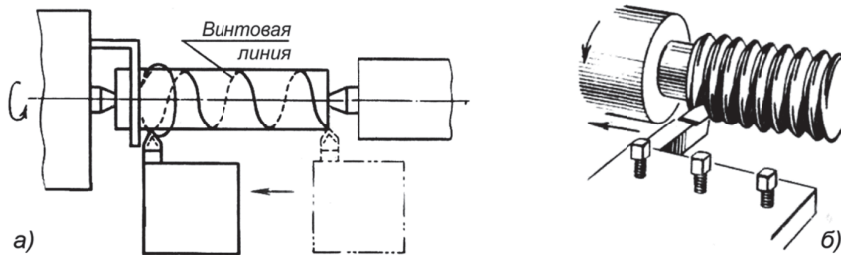
### 7.1. РЕЗЬБЫ И РЕЗЬБОВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ

#### 7.1.1. ГЕОМЕТРИЯ ВИНТОВОЙ ЛИНИИ

Резьбовые соединения деталей являются наиболее распространенными в машиностроении.

В результате сочетания вращательного движения заготовки и поступательного перемещения резца (рис 7.1, а) на поверхности заготовки наносится след в виде винтовой линии. При углублении резца в заготовку на ее поверхности образуется винтовая поверхность (рис 7.1, б), называемая резьбой.

Метод получения винтовой поверхности используют для получения различных типов резьбы при определенных сочетаниях параметров движений заготовки и резца.

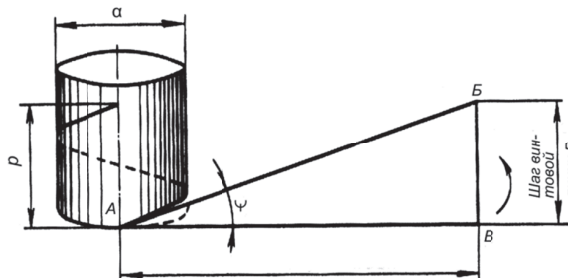


**Рис. 7.1. Схема нарезания наружной резьбы:**

а – схема движения инструмента и заготовки; б – нарезание резьбы резцом

Среди резьбовых соединений наиболее распространены крепежные соединения – болт, винт, гайка и др. В резьбовом соединении (болта с гайкой) при вращении одной детали относительно другой происходит взаимное перемещение деталей вдоль оси вращения.

Если развернуть винтовую линию на плоскость, то наклон винтовой линии к плоскости, перпендикулярной к оси вращения детали, называют углом подъема винтовой линии –  $\psi$  (рис. 7.2).



**Рис. 7.2. Геометрия винтовой линии**

Расстояние между соседними винтовыми линиями, измеренное вдоль оси заготовки, называют шагом  $P$  винтовой линии. Длина окружности  $\pi d$ . Если часть поверхности детали, равную шагу винтовой линии, развернуть на плоскость, то из прямоугольного треугольника  $ABB'$  (рис. 7.2) можно определить  $\operatorname{tg} \psi = P/\pi d$ , где  $d$  – диаметр детали с винтовой линией. При этом углубление или выступ на поверхности детали, расположенные по винтовой линии, образуют винтовую поверхность – резьбу.

Резьбу применяют для соединения, уплотнения или обеспечения заданных взаимных перемещений деталей в машинах и механизмах.

#### 7.1.2. ПРОФИЛИ РЕЗЬБЫ, ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

В зависимости от назначения резьбового соединения применяют резьбы различного профиля. Профилем принято называть контур выступа и канавки резьбы в плоскости ее осевого сечения. Широко применяют резьбы с остроугольным, трапецидальным и прямоугольным профилем.

К основным элементам резьбы относят (рис. 7.3, а – е):

*профиль резьбы* – контур сечения витка в плоскости, проходящей через ось резьбы;

*угол профиля*  $\alpha$  – угол между смежными боковыми сторонами резьбы в плоскости осевого сечения;

*вершину профиля* – часть винтовой поверхности, соединяющую смежные боковые стороны резьбы по вершине ее выступа;



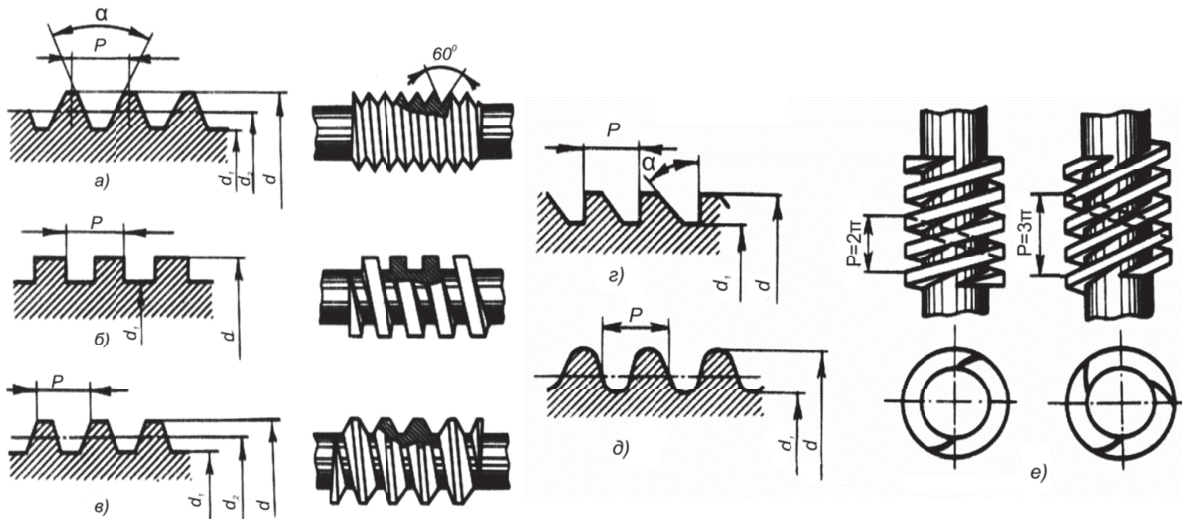


Рис. 7.3. Резьбы различного профиля:

*а* – остроугольная, *б* – прямоугольная, *в* – трапецидальная, *г* – упорная, *д* – круглая, *е* – двух- и трехзаходная

*впадину профиля* – часть винтовой поверхности, соединяющую смежные боковые стороны резьбы по дну ее канавки;

*шаг  $p$  резьбы* – расстояние, измеренное по линии, параллельной оси резьбы, между точками одноименных боковых сторон профиля, лежащими в одной осевой плоскости по одну сторону от оси резьбы;

*наружный диаметр  $d$  резьбы* – диаметр воображаемого цилиндра, описанного вокруг вершин наружной или впадин внутренней цилиндрической резьбы;

*внутренний диаметр  $d_1$  резьбы* – диаметр воображаемого цилиндра, вписанного во впадины наружной или вершины внутренней цилиндрической резьбы;

*средний диаметр  $d_2$  резьбы* – диаметр воображаемого цилиндра, соосного с резьбой, образующая которого делится боковыми сторонами профиля на отрезки, равные половине шага резьбы;

*угол  $\psi$  подъема резьбы* – угол наклона профиля (рис. 7.2), образованный касательной к винтовой линии, описываемой средней точкой боковой стороны резьбы и плоскостью, перпендикулярной оси резьбы.

$$\psi = \arctg \frac{p}{\pi d_2}$$

Для многозаходной резьбы вместо  $p$  следует подставлять  $pn$ , где  $n$  – число заходов.

Элементы наружной резьбы (болта) обозначают  $d$ ,  $d_1$  и  $d_2$ , а внутренней резьбы (гайки) –  $D$ ,  $D_1$  и  $D_2$ .

$$d_2 = \frac{P}{\pi \cdot \operatorname{tg} \psi}$$

Резьбы бывают *левые* и *правые*. Винт с правой резьбой заворачивают при вращении по часовой стрелке – слева направо, винт с левой резьбой при вращении против часовой стрелки – справа налево.

Различают *резьбы однозаходные* и *многозаходные* (рис. 7.3, *е*). Однозаходная резьба образована одной непрерывной ниткой резьбы и ее шаг  $p = d_2 \operatorname{tg} \psi$ , а многозаходная – несколькими нитками резьбы, эквидистантно расположенными на поверхности детали, и ее шаг  $p_n = p$ . Число заходов  $n$ , ниток резьбы легко определить на торце детали, где начинается резьбовая поверхность (рис. 7.3, *е*).

В многозаходной резьбе различают *ход* и *шаг*. Ходом многозаходной резьбы называют расстояние между одноименными точками одного витка или нитки, измеренное параллельно оси детали. Ход многозаходной резьбы равен шагу резьбы, умноженному на число заходов –  $p_n = p n$ , где  $n$  – число заходов.

Резьбы в зависимости от выполняемой работы бывают *передающие движение* и *крепежные*. Первые предназначены для преобразования вращательного движения в поступательное, которое часто применяют в механизмах перемещения, в зажимных устройствах и т. д. Обычно такие резьбы имеют прямоугольный или трапецидальный профиль. Когда направление действия осевого усилия не зависит от направления вращения гайки или винта, применяют упорную резьбу. Резьбы треугольного профиля используют на крепежных деталях.

Применяют три системы резьбы: *метрическую*, *дюймовую* и *трубную*; имеются также резьбы – прямоугольная, трапецидальная, упорная, круглая и коническая резьба Бригса по ГОСТ 6111-52.

*Профиль метрической резьбы* (рис. 7.3, *а*) имеет вид треугольника с углом при вершине  $\alpha = 60^\circ$ . Существует шесть видов метрической резьбы с различными величинами шага – основная (М10, М20 и т. д.) и мелкие от 1-й до 5-й включительно (М24×1,5; М30×2 и т. д.). Метрическую резьбу (однозаходную) в основном применяют для крепежных деталей: шпилек, винтов, болтов, гаек и др. (табл. 7.1 и 7.2).

*Профиль трубной цилиндрической резьбы* имеет при закругленной вершине угол  $\alpha = 55^\circ$ . Каждому размеру резьбы в дюймах соответствует определенное число ниток (не менее 11) резьбы на 1" (дюйм). За диаметр трубной резьбы условно принимают условный диаметр отверстия трубы. Трубная резьба, с зазором в пределах допуска под уплотнитель, предназначена для различных трубных соединений, арматуры трубопроводов и фитингов (табл. 7.6).

Профиль резьбы трубной конической с углом профиля  $55^\circ$  по ГОСТ 6211-81 соответствует закругленному профилю трубной цилиндрической резьбы (табл. 7.7).

Профиль резьбы трубной конической с углом профиля  $60^\circ$  по ГОСТ 6111-52 имеет остrokонечный профиль (табл. 7.8).

*Профиль прямоугольной трапецидальной резьбы* (рис. 7.3, *в*) по ГОСТ 9484-81 применяют для передачи движения, например, в ходовых винтах и винтах суппортов металлорежущих станков, домкратах и т. п. (табл. 7.3 – 7.5).

Профиль упорной резьбы (рис. 7.3, з) используют для механизмов, работающих под большим давлением, действующим в одном направлении, например в гидравлических и механических прессах.

Профиль упорной резьбы регламентирован стандартами: профиль резьбы упорной с углом профиля  $30^\circ$  по ГОСТ 10177–82 (табл. 7.9 и 7.10) и профиль резьбы упорной с углом профиля  $45^\circ$  по ГОСТ 13535–87 (табл. 7.11).

Рабочий угол профиля упорной резьбы равный  $3^\circ$  принят технологическим процессом для нарезания этой резьбы.

При нарезании резьбы на детали образуются участки с резьбой неполной глубины (с неполной резьбой), которые необходимо учитывать при определении рабочей длины резьбы (рис. 7.4).

Если необходимо дать выход инструменту при нарезании резьбы, то предусматривают на нарезаемой поверхности канавку (проточку).

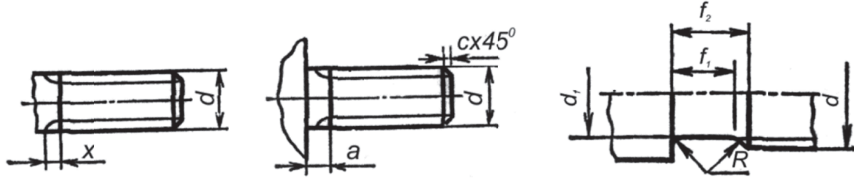


Рис. 7.4. Элементы резьбы:

$x$  – сбеги;  $a$  – недорез;  $f_1$  – проточка;  $c$  – фаска.

**Сбег резьбы** – длина поверхности вдоль оси стержня или отверстия с неполным профилем резьбы, образуемой заходной режущей кромкой инструмента.

**Недорез резьбы** – длина поверхности вдоль оси стержня или отверстия с учетом неполного профиля резьбы, образуемого заходной режущей кромкой инструмента, когда инструмент упирается в торцевую поверхность.

**Проточка** – углубление на поверхности стержня или отверстия, которое исключает сбеги или недорез резьбы.

**Фаски** – переходная поверхность от торцевой поверхности к цилиндрической, которая служит для захода инструмента при нарезании резьбы и защиты заходных витков резьбы.

**Длина свинчивания** – сопрягаемая длина вдоль оси контакта резьбы болта и гайки. Для стандартной резьбы нормальной длины свинчивания является высота стандартной гайки –  $0,8d$ .

Элементы резьбы (сбеги, недорезы, проточки и фаски), мм:

- элементы метрической резьбы приведены в табл. 7.12 – 7.17;
- элементы конической дюймовой резьбы по ГОСТ 6111-52 приведены в табл. 7.18;
- элементы трубной цилиндрической резьбы по ГОСТ 6357 приведены в табл. 7.19;
- элементы трапецеидальной резьбы по ГОСТ 9484–81 приведены в табл. 7.20.

### 7.1.3. ПРОФИЛИ РЕЗЬБЫ, ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ И РАЗМЕРЫ

Таблица 7.1

| Профиль резьбы метрической по ГОСТ 24705–2004 |          |                |             |             |       |
|---|----------|----------------|-------------|-------------|-------|
| Номинальный диаметр резьбы, $d$               | Шаг, $P$ | Диаметр резьбы |             |             |       |
|   |          | $d = D$        | $d_2 = D_2$ | $d_1 = D_1$ | $d_3$ |
| 0,25  | 0,075*   | 0,250          | 0,201       | 0,169       | 0,158 |
| 0,3   | 0,08*    | 0,300          | 0,248       | 0,213       | 0,202 |
| 0,35  | 0,09     | 0,350          | 0,292       | 0,253       | 0,240 |
| 0,4   | 0,1*     | 0,4            | 0,335       | 0,292       | 0,277 |
| 0,45  | 0,1      | 0,45           | 0,385       | 0,342       | 0,327 |
| 0,5   | 0,125*   | 0,5            | 0,419       | 0,365       | 0,347 |
| 0,55  | 0,125    | 0,55           | 0,469       | 0,415       | 0,397 |
| 0,6   | 0,15*    | 0,6            | 0,503       | 0,438       | 0,416 |
| 0,7   | 0,175    | 0,7            | 0,536       | 0,511       | 0,485 |
| 0,8   | 0,2*     | 0,8            | 0,670       | 0,583       | 0,555 |
| 0,9   | 0,225    | 0,9            | 0,754       | 0,656       | 0,624 |
| 1   | 0,25*    | 1,00           | 0,838       | 0,729       | 0,693 |
|   | 0,2      | 1              | 0,870       | 0,783       | 0,755 |
| 1,1   | 0,25     | 1,1            | 0,938       | 0,829       | 0,793 |
|   | 0,2      | 1,1            | 0,970       | 0,883       | 0,855 |
| 1,2   | 0,25*    | 1,2            | 1,038       | 0,929       | 0,893 |
|   | 0,2      | 1,2            | 1,070       | 0,983       | 0,955 |
| 1,4   | 0,3      | 1,4            | 1,205       | 1,075       | 1,032 |
|   | 0,2      | 1,4            | 1,270       | 1,183       | 1,155 |
| 1,6   | 0,35*    | 1,6            | 1,375       | 1,221       | 1,171 |
|   | 0,2      | 1,6            | 1,470       | 1,383       | 1,355 |

Продолжение таблицы 7.1

|     |       |     |        |        |        |
|-----|-------|-----|--------|--------|--------|
| 1,8 | 0,35  | 1,8 | 1,573  | 1,421  | 1,371  |
|     | 0,2   | 1,8 | 1,670  | 1,583  | 1,555  |
| 2   | 0,4*  | 2   | 1,740  | 1,567  | 1,509  |
|     | 0,25  | 2   | 1,838  | 1,729  | 1,693  |
| 2,2 | 0,45  | 2,2 | 1,908  | 1,713  | 1,648  |
|     | 0,25  | 2,2 | 2,038  | 1,929  | 1,893  |
| 2,5 | 0,45* | 2,5 | 2,208  | 2,013  | 1,948  |
|     | 0,35  | 2,5 | 2,273  | 2,121  | 2,071  |
| 3   | 0,5*  | 3,0 | 2,675  | 2,459  | 2,387  |
|     | 0,35  | 3,0 | 2,773  | 2,621  | 2,571  |
| 3,5 | 0,6   | 3,5 | 3,110  | 2,850  | 2,764  |
|     | 0,35  | 3,5 | 3,273  | 3,121  | 3,071  |
| 4   | 0,7*  | 4   | 3,545  | 3,242  | 3,141  |
|     | 0,5   | 4   | 3,675  | 3,459  | 3,387  |
| 4,5 | 0,75  | 4,5 | 4,013  | 3,688  | 3,580  |
|     | 0,5   | 4,5 | 4,175  | 3,959  | 3,887  |
| 5   | 0,8*  | 5   | 4,480  | 4,134  | 4,019  |
|     | 0,5   | 5   | 4,675  | 4,459  | 4,387  |
| 5,5 | 0,5   | 5,5 | 5,175  | 4,959  | 4,887  |
| 6   | 1*    | 6   | 5,350  | 4,917  | 4,773  |
|     | 0,75  | 6   | 5,513  | 5,188  | 5,080  |
|     | 0,5   | 6   | 5,675  | 5,459  | 5,387  |
| 7   | 1     | 7   | 6,350  | 5,917  | 5,773  |
|     | 0,75  | 7   | 6,513  | 6,188  | 6,080  |
|     | 0,5   | 7   | 6,675  | 6,459  | 6,387  |
| 8   | 1,25* | 8   | 7,188  | 6,647  | 6,466  |
|     | 1     | 8   | 7,350  | 6,917  | 6,773  |
|     | 0,75  | 8   | 7,513  | 7,188  | 7,080  |
|     | 0,5   | 8   | 7,675  | 7,459  | 7,387  |
| 9   | 1,25  | 9   | 8,183  | 7,647  | 7,466  |
|     | 1     | 9   | 8,350  | 7,917  | 7,773  |
|     | 0,75  | 9   | 8,513  | 8,188  | 8,080  |
|     | 0,5   | 9   | 8,675  | 8,459  | 8,387  |
| 10  | 1,5*  | 10  | 9,026  | 8,376  | 8,160  |
|     | 1,25  | 10  | 9,188  | 8,647  | 8,466  |
|     | 1     | 10  | 9,350  | 8,917  | 8,773  |
|     | 0,75  | 10  | 9,513  | 9,188  | 9,080  |
|     | 0,5   | 10  | 9,675  | 9,459  | 9,387  |
| 11  | 1,5   | 11  | 10,026 | 9,376  | 9,160  |
|     | 1     | 11  | 10,350 | 9,917  | 9,773  |
|     | 0,75  | 11  | 10,513 | 10,188 | 10,080 |
|     | 0,5   | 11  | 10,675 | 10,459 | 10,387 |
| 12  | 1,75* | 12  | 10,863 | 10,106 | 9,853  |
|     | 1,5   | 12  | 11,026 | 10,376 | 10,160 |
|     | 1,25  | 12  | 11,188 | 10,647 | 10,466 |
|     | 1     | 12  | 11,350 | 10,917 | 10,773 |
|     | 0,75  | 12  | 11,513 | 11,188 | 11,080 |
|     | 0,5   | 12  | 11,675 | 11,459 | 11,387 |
| 14  | 2     | 14  | 12,701 | 11,835 | 11,546 |
|     | 1,8   | 14  | 13,026 | 12,376 | 12,160 |
|     | 1,25  | 14  | 13,188 | 12,647 | 12,466 |
|     | 1     | 14  | 13,350 | 12,917 | 12,773 |
|     | 0,75  | 14  | 13,513 | 13,188 | 13,080 |
|     | 0,5   | 14  | 13,675 | 13,459 | 13,387 |
| 15  | 1,5   | 15  | 14,026 | 13,376 | 13,160 |
|     | 1     | 15  | 14,350 | 13,917 | 13,773 |
| 16  | 2*    | 16  | 14,701 | 13,835 | 13,546 |
|     | 1,5   | 16  | 15,026 | 14,376 | 14,160 |
|     | 1     | 16  | 15,350 | 14,917 | 14,773 |
|     | 0,75  | 16  | 15,513 | 15,188 | 15,080 |
|     | 0,5   | 16  | 15,675 | 15,459 | 15,387 |
| 17  | 1,5   | 17  | 16,026 | 15,376 | 16,160 |
|     |       | 17  | 16,350 | 15,917 | 15,773 |
|     | 2,5   | 18  | 16,376 | 15,294 | 14,933 |
|     | 2     | 18  | 16,701 | 15,835 | 15,546 |
|     | 1,5   | 18  | 17,026 | 16,376 | 18     |
|     | 1     | 18  | 17,350 | 16,917 | 16,773 |
|     | 0,75  | 18  | 17,513 | 17,188 | 17,080 |
|     | 0,5   | 18  | 17,675 | 17,459 | 17,387 |

Окончание таблицы 7.1

|    |      |    |        |        |        |
|----|------|----|--------|--------|--------|
| 20 | 2,5* | 20 | 18,376 | 17,294 | 16,933 |
|    | 2    | 20 | 18,701 | 17,835 | 17,546 |
|    | 1,5  | 20 | 19,026 | 18,376 | 18,160 |
|    | 1    | 20 | 19,350 | 18,917 | 18,773 |
|    | 0,75 | 20 | 19,513 | 19,188 | 19,080 |
|    | 0,5  | 20 | 19,675 | 19,459 | 19,387 |
| 22 | 2,5  | 22 | 20,376 | 19,294 | 18,933 |
|    | 2    | 22 | 20,701 | 19,835 | 19,546 |
|    | 1,5  | 22 | 21,026 | 20,376 | 20,160 |
|    | 1    | 22 | 21,350 | 20,917 | 20,773 |
|    | 0,75 | 22 | 21,513 | 21,188 | 21,080 |
|    | 0,5  | 22 | 21,675 | 21,459 | 21,387 |
| 24 | 3*   | 24 | 22,051 | 20,752 | 20,319 |
|    | 2    | 24 | 22,701 | 21,835 | 21,546 |
|    | 1,5  | 24 | 23,026 | 22,376 | 22,160 |
|    | 1    | 24 | 23,350 | 22,917 | 22,773 |
|    | 0,75 | 24 | 23,513 | 23,188 | 23,080 |

**Примечания:**

1. В ГОСТ 24705–2004 приведены размеры резьбы для диаметров до 600 мм с шагом до 6 мм.

2. Основные элементы метрической резьбы общего назначения (ГОСТ 24705–2004): d – наружный диаметр наружной резьбы (болта); D – наружный диаметр внутренней резьбы (гайки); d<sub>2</sub> – средний диаметр болта; D<sub>2</sub> – средний диаметр гайки; d<sub>1</sub> – внутренний диаметр болта; D<sub>1</sub> – внутренний диаметр гайки; d<sub>3</sub> – внутренний диаметр болта по дну впадины; P – шаг резьбы; H – высота исходного треугольника.

| Примечание 3.<br>Формулы<br>для подсчета<br>диаметров резьбы | Шаг, P        | d = D                 | d <sub>2</sub> = D <sub>2</sub> | d <sub>1</sub> = D <sub>1</sub> | d <sub>3</sub>  |
|--|---------------|-----------------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------|
|  | 0,2           | См.<br>таблицу<br>7.2 | d – 1 + 0,870                   | d – 1 + 0,783                   | d – 0,3 + 0,055 |
|  | 0,25          |                       | d – 1 + 0,838                   | d – 1 + 0,730                   | d – 0,4 + 0,093 |
|  | 0,35          |                       | d – 1 + 0,773                   | d – 1 + 0,621                   | d – 0,5 + 0,071 |
|  | 0,5           |                       | d – 1 + 0,675                   | d – 1 + 0,459                   | d – 1 + 0,387   |
|  | 0,75          |                       | d – 1 + 0,513                   | d – 1 + 0,188                   | d – 1 + 0,080   |
|  | 1,0           |                       | d – 1 + 0,350                   | d – 1 + 0,917                   | d – 2 + 0,773   |
|  | 1,25          |                       | d – 1 + 0,188                   | d – 2 + 0,647                   | d – 2 + 0,466   |
|  | 1,5           |                       | d – 1 + 0,026                   | d – 2 + 0,376                   | d – 2 + 0,160   |
|  | 2,0           |                       | d – 2 + 0,701                   | d – 3 + 0,835                   | d – 3 + 0,546   |
|  | 3,0           |                       | d – 2 + 0,051                   | d – 4 + 0,752                   | d – 3 + 0,319   |
|  | 4,0           |                       | d – 3 + 0,402                   | d – 5 + 0,670                   | d – 5 + 0,092   |
|  | 4,5           |                       | d – 3 + 0,077                   | d – 5 + 0,129                   | d – 6 + 0,479   |
|  | 5             |                       | d – 4 + 0,752                   | d – 6 + 0,587                   | d – 7 + 0,865   |
| 5,5  | d – 4 + 0,428 |                       | d – 6 + 0,046                   | d – 7 + 0,252                   |                 |
| 6  | d – 4 + 0,103 | d – 7 + 0,505         | d – 8 + 0,638                   |                                 |                 |

Примечание 4. \* – отмечен 1-й ряд резьбы с крупным шагом.

Таблица 7.2

## Ряды номинальных диаметров и шаги резьбы метрической по ГОСТ 8724–81

| Номинальный диаметр, d | Шаг, P  |                         |
|------------------------|---------|-------------------------|
|                        | крупный | мелкий                  |
| <i>1-й ряд</i>         |         |                         |
| 0,25                   | 0,075   | -                       |
| 0,30                   | 0,080   | -                       |
| 0,40                   | 0,100   | -                       |
| 0,50                   | 0,125   | -                       |
| 0,60                   | 0,150   | -                       |
| 0,80                   | 0,200   | -                       |
| 1; 1,2                 | 0,25    | 0,2                     |
| 1,6                    | 0,35    | 0,2                     |
| 2,0                    | 0,40    | 0,25                    |
| 2,5                    | 0,45    | 0,35                    |
| 3,0                    | 0,50    | 0,35                    |
| 4,0                    | 0,70    | 0,50                    |
| 5                      | 0,8     | 0,50                    |
| 6                      | 1       | 0,75; 0,5               |
| 8                      | 1,25    | 1; 0,75; 0,5            |
| 10                     | 1,5     | 1,25; 1; 0,75; 0,5      |
| 12                     | 1,75    | 1,5; 1,25; 1; 0,75; 0,5 |
| 16                     | 2       | 1,5; 1; 0,75; 0,5       |
| 20                     | 2,5     | 2; 1,5; 1; 0,75; 0,5    |
| 24                     | 3       | 2; 1,5; 1; 0,75         |
| 30                     | 3,5     | (3); 2; 1,5; 1; 0,75    |
| 36                     | 4       | 3; 2; 1,5; 1            |
| 42                     | 4,5     | (4); 3; 2; 1,5; 1       |
| 48                     | 5       | (4); 3; 2; 1,5; 1       |
| 56                     | 5,5     | 4; 3; 2; 1,5; 1         |
| 64                     | 6       | 4; 3; 2; 1,5; 1         |

|   |        |                         |
|---|--------|-------------------------|
| 72; 80  | –      | 6; 4; 3; 2; 1,5; 1      |
| 90; 100; 110; 125; 140  | –      | 6; 4; 3; 2; 1,5; 1      |
| 160; 180; 200   | –      | 6; 4; 3; 2              |
| 220; 250; 280   | –      | 6; 4; 3                 |
| 320; 360; 400   | –      | 6; 4                    |
| 450; 500; 550; 600  | –      | 6                       |
| <i>2-й ряд</i>  |        |                         |
| 0,35  | 0,09   | –                       |
| 0,45  | 0,10   | –                       |
| 0,55  | 0,125  | –                       |
| 0,7   | 0,175  | –                       |
| 0,9   | 0,225  | –                       |
| 1,1   | 0,25   | 0,2                     |
| 1,4   | 0,3    | 0,2                     |
| 1,8   | 0,35   | 0,2                     |
| 2,2   | 0,45   | 0,25                    |
| 3,5   | (0,6)  | 0,35                    |
| 14  | 2      | 1,5; 1,25; 1; 0,75; 0,5 |
| 18; 22  | 2,5    | 2; 1,5; 1; 0,75; 0,5    |
| 27  | 3      | 2; 1,5; 1; 0,75         |
| 33  | 3,5    | (3); 2; 1,5; 1; 0,75    |
| 39  | 4      | (3); 2; 1,5; 1          |
| 45  | 4,5    | (4); 3; 2; 1,5; 1       |
| 52  | 5      | (4); 3; 2; 1,5; 1       |
| 60  | (5,5)  | 4; 3; 2; 1,5; 1         |
| 68  | 6      | 4; 3; 2; 1,5; 1         |
| 76  | –      | 6; 4; 3; 2; 1,5; 1      |
| 85; 95; 105; 115; 120; 130; 150; 170; 190,                    | –      | 6; 4; 3; 2; 1,5         |
| 210; 240; 260; 300,   | –      | 6; 4; 3                 |
| 340; 380  | –      | 6                       |
| 420; 480; 520; 580  | –      | 6; 4                    |
| <i>3-й ряд</i>  |        |                         |
| (5,5)   |        | 0,5                     |
| 7   | 1      | 0,75; 0,5               |
| 9   | (1,25) | 1; 0,75; 0,5            |
| 11  |        | 1; 0,75; 0,5            |
| 15; 17  |        | 1,5; (1)                |
| 25  |        | 2; 1,5; (1)             |
| (26); 35; (38)  |        | 1,5                     |
| (28)  |        | 2; 1,5; 1               |
| (32)  |        | 2; 1,5                  |
| 40; 50  |        | (3); (2); 1,5           |
| 55; 58; 62; 65; 75  |        | (4); (3); 2; 1,5        |
| 70  |        | (6); (4); (3); 2; 1,5   |
| (78); (80)  |        | 2                       |
| 135; 145  |        | 6; 4; 3; 2; 1           |
| 155; 165; 175; 185; 195                                       |        | 6; 4; 3; 2              |
| 205; 215; 225; 230; 235; 245; 255; 265;                       |        | 6; 4; 3                 |
| 270; 275; 285; 290; 295; 310; 330; 350; 370; 390              |        | 6; 4                    |
| 410; 430; 440; 460; 470; 490; 510; 530;<br>540; 560; 570; 590 |        | 6                       |

**Примечания:**

1. При выборе диаметров резьбы следует предпочитать ряд 1 ряду 2, ряд 2 ряду 3.

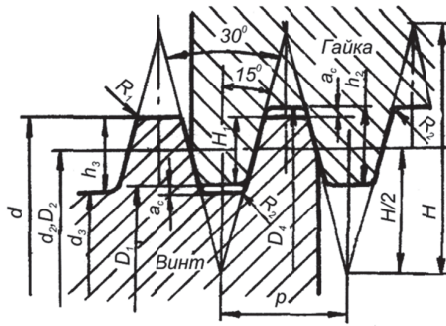
2. Диаметры и шаги резьбы, заключенные в скобки, по возможности не применять.

3. Резьбу М1 4x1,25 применяют только для свечей зажигания, а резьбу М35x1,5 – только для стопорных гаек шарикоподшипников.



Профиль резьбы трапецеидальной по ГОСТ 9484-81

$$H=1,866P \quad H_1=0,5P \quad h_3=H_1=a_c$$



| Шар, P | $a_c$ | $h_3$ | $R_{1max}=0,5a_c$ | $R_{2max}=a_c$ | Шар P | $a_c$ | $h_3$ | $R_{1max}=0,5a_c$ | $R_{2max}=a_c$ |
|--------|-------|-------|-------------------|----------------|-------|-------|-------|-------------------|----------------|
| 1,5    | 0,15  | 0,9   | 0,075             | 0,15           | 16    | 1     | 9     | 0,5               | 1              |
| 2      | 0,25  | 1,25  | 0,125             | 0,25           | 18    | 1     | 10    | 0,5               | 1              |
| 3      | 0,25  | 1,75  | 0,125             | 0,25           | 20    | 1     | 11    | 0,5               | 1              |
| 4      | 0,25  | 2,25  | 0,125             | 0,25           | 22    | 1     | 12    | 0,5               |                |
| 5      | 0,25  | 2,75  | 0,125             | 0,25           | 24    | 1     | 13    | 0,5               |                |
| 6      | 0,5   | 3,5   | 0,25              | 0,5            | 28    | 1     | 15    | 0,5               |                |
| 7      | 0,5   | 4     | 0,25              | 0,5            | 32    | 1     | 17    | 0,5               |                |
| 8      | 0,5   | 4,5   | 0,25              | 0,5            | 36    | 1     | 19    | 0,5               |                |
| 9      | 0,5   | 5     | 0,25              | 0,5            | 40    | 1     | 21    | 0,5               |                |
| 10     | 0,5   | 5,5   | 0,25              | 0,5            |       |       |       |                   |                |
| 12     | 0,5   | 6,5   | 0,25              | 0,5            |       |       |       |                   |                |
| 14     | 1     | 8     | 0,5               | 1              |       |       |       |                   |                |

Примечание:  $a_c$  – зазор по вершине резьбы;  $R_1$  – радиус скругления по вершине наружной резьбы;  $R_2$  – радиус скругления по впадине наружной и внутренней резьбы;  $P$  – шаг резьбы.

Таблица 7.4

Основные размеры резьбы трапецеидальной (мм) по ГОСТ 24738-81

| d       | $d_3$ | $d_2=D_2$ | $D_4$ | $D_1$ | d     | $d_3$ | $d_2=D_2$ | $D_4$ | $D_1$ | d      | $d_3$ | $d_2=D_2$ | $D_4$ | $D_1$ |
|---------|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|-----------|-------|-------|--------|-------|-----------|-------|-------|
| P = 1,5 |       |           |       |       | 60    | 56,5  | 58,5      | 60,5  | 57    | 48     | 39    | 44        | 49    | 40    |
| 8       | 6,2   | 7,25      | 8,3   | 6,5   | P = 4 |       |           |       |       | 52     | 41    | 46        | 51    | 42    |
| P = 2   |       |           |       |       | 65    | 60,5  | 63        | 65,5  | 61    | 55     | 46    | 51        | 56    | 47    |
| 8       | 5,5   | 7         | 8,5   | 6     | 70    | 65,5  | 68        | 70,5  | 66    | 60     | 51    | 56        | 61    | 52    |
| 10      | 7,5   | 9         | 10,5  | 8     | 75    | 70,5  | 73        | 75,5  | 71    | P = 10 |       |           |       |       |
| 12      | 9,5   | 11        | 12,5  | 10    | 80    | 75,5  | 78        | 80,5  | 76    | 36     | 25    | 31        | 37    | 26    |
| 14      | 11,5  | 13        | 14,5  | 12    | P = 5 |       |           |       |       | 38     | 27    | 33        | 39    | 28    |
| 16      | 13,5  | 15        | 16,5  | 14    | 85    | 79,5  | 82,5      | 85,5  | 80    | 42     | 31    | 37        | 43    | 32    |
| 18      | 15,5  | 17        | 18,5  | 16    | 90    | 84,5  | 87,5      | 90,5  | 85    | 65     | 54    | 60        | 66    | 55    |
| 22      | 19,5  | 21        | 22,5  | 20    | 95    | 89,5  | 92,5      | 95,5  | 90    | 70     | 59    | 65        | 71    | 60    |
| 24      | 21,5  | 23        | 24,5  | 22    | 100   | 94,5  | 97,5      | 100,5 | 95    | 75     | 64    | 70        | 76    | 65    |
| 26      | 23,5  | 25        | 26,5  | 24    | P = 6 |       |           |       |       | 80     | 69    | 75        | 84    | 70    |
| 28      | 25,5  | 27        | 28,5  | 26    | 30    | 23    | 27        | 31    | 24    | P = 12 |       |           |       |       |
| P=3     |       |           |       |       | 32    | 25    | 29        | 33    | 26    | 50     | 37    | 44        | 51    | 38    |
| 30      | 26,5  | 28,5      | 30,5  | 27    | 34    | 27    | 31        | 35    | 28    | 55     | 42    | 49        | 56    | 43    |
| 34      | 30,5  | 32,5      | 34,5  | 31    | 36    | 29    | 33        | 37    | 30    | 60     | 47    | 54        | 61    | 48    |
| 36      | 32,5  | 34,5      | 36,5  | 33    | 38    | 31    | 35        | 39    | 32    | 85     | 72    | 79        | 86    | 73    |
| 38      | 34,5  | 36,5      | 38,5  | 35    | 40    | 33    | 37        | 41    | 34    | 90     | 77    | 84        | 91    | 78    |
| 42      | 38,5  | 40,5      | 42,5  | 39    | 42    | 35    | 39        | 43    | 36    | P = 16 |       |           |       |       |
| 44      | 40,5  | 42,5      | 44,5  | 41    | P = 8 |       |           |       |       | 70     | 52    | 62        | 72    | 54    |
| 46      | 42,5  | 44,5      | 46,5  | 43    | 28    | 19    | 24        | 29    | 20    | 75     | 57    | 67        | 77    | 59    |
| 50      | 46,5  | 48,5      | 50,5  | 47    | 44    | 35    | 40        | 45    | 36    | 80     | 62    | 72        | 82    | 64    |
| 55      | 51,5  | 53,5      | 55,5  | 52    | 46    | 37    | 42        | 47    | 38    |        |       |           |       |       |

Диаметры и шаги резьбы трапецеидальной однозаходной по ГОСТ 24738-81

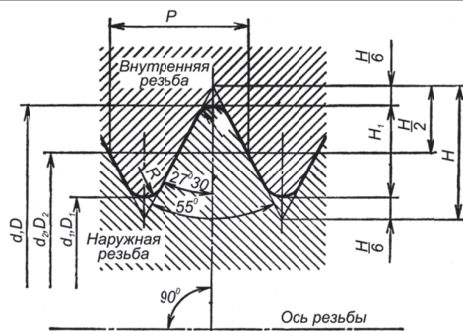
| Номинальные диаметры резьбы, d |       | Шаг, P      | Номинальные диаметры резьбы, d |       | Шаг, P              |
|--------------------------------|-------|-------------|--------------------------------|-------|---------------------|
| ряд 1                          | ряд 2 |             | ряд 1                          | ряд 2 |                     |
| 8                              | —     | 1,5; 2*     | —                              | 46    | 3; 8; 12            |
| —                              | 9     | 1,5; 2      | 48                             | —     |                     |
| 10                             | —     | 1,5; 2      | —                              | 50    |                     |
| —                              | 11    | 2; 3        | 52                             | —     | 3; 8; 12            |
| 12                             | —     | 2; 3        | —                              | 55    | 8; 9; 12; 14        |
| —                              | 14    | 2; 3        | 60                             | —     | 8; 9; 12; 14        |
| 16                             | —     | 2; 4        | —                              | 65    | 4; 10; 16           |
| —                              | 18    | 2; 4        | 70                             | —     |                     |
| 20                             | —     | 2; 4        | —                              | 75    |                     |
| —                              | 22    | 2*; 3; 5; 8 | 80                             | —     | 4; 10; 16           |
| 24                             | —     | 2*; 3; 5; 8 | —                              | 85    | 4; 5*; 12; 18; 20   |
| —                              | 26    | 2*; 3; 5; 8 | 90                             | —     | 4; 5*; 12; 18; 20   |
| 28                             | —     | 2*; 3; 5; 8 | —                              | 95    | 4; 5*; 12; 10; 20*  |
| —                              | 30    | 3; 6; 10    | 100                            | —     | 4; 5*; 12; 20       |
| 32                             | —     | 3; 6; 10    | —                              | 100   | 4; 5*; 12; 20       |
| —                              | 34    | 3; 6; 10    | 120                            | —     | 6; 14; 16*; 22; 24* |
| 36                             | —     | 3; 6; 10    | —                              | 130   | 6; 14; 16*; 22; 24* |
| —                              | 38    | 6*; 7; 10   | 140                            | —     | 6; 14; 16*; 24      |
| 40                             | —     | 3; 6; 7; 10 | —                              | 150   | 6; 16; 24           |
| —                              | 42    | 3; 6; 7; 10 | 160                            | —     | 6; 8*; 16; 24*; 28  |
| 44                             | —     | 3; 7; 8; 10 | —                              | 170   | 6; 8*; 16; 24*; 28  |

Примечания:

1. В ГОСТе приведены диаметры резьбы до 640 мм и шаги до 48 мм.
2. Шаги, заключенные в рамки, являются предпочтительными при разработке новых конструкций.
3. Шаги, обозначенные звездочкой, не следует применять при разработке новых конструкций.

Таблица 7.6

Профиль резьбы трубной цилиндрической с углом профиля 55° по ГОСТ 6357-81

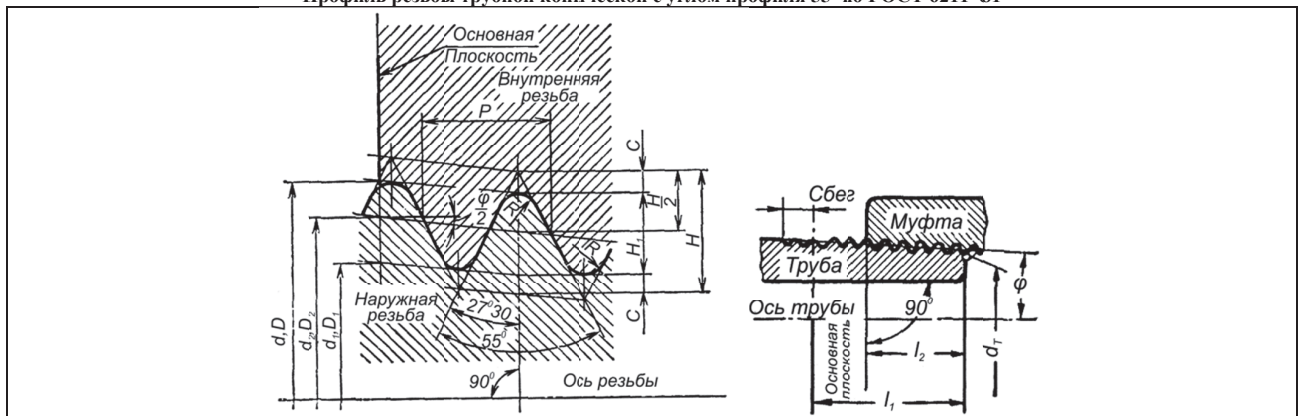


| Обозначение резьбы, дюймы |         | Число шагов z на длине 25,4 мм | Шаг, P | Диаметр резьбы |   |  |
|---------------------------|---------|--------------------------------|--------|----------------|---|--|
| 1-й ряд                   | 2-й ряд |                                |        | наружный d = D | средний d <sub>2</sub> = D <sub>2</sub> | внутренний d <sub>1</sub> = D <sub>1</sub> |
| 1/16                      | —       | 28                             | 0,907  | 7,723          | 7,142                                   | 6,561                                      |
| 1/8                       | —       |                                |        | 9,728          | 9,147                                   | 8,566                                      |
| 1/4                       | —       | 19                             | 1,337  | 13,157         | 12,301                                  | 11,445                                     |
| 3/8                       | —       |                                |        | 16,662         | 15,806                                  | 14,950                                     |
| 1/2                       | —       | 14                             | 1,814  | 20,955         | 19,793                                  | 18,631                                     |
| 3/4                       | 5/8     |                                |        | 22,911         | 21,749                                  | 20,587                                     |
|                           | 7/8     |                                |        | 26,441         | 25,279                                  | 24,117                                     |
| 1                         | 1/8     | 11                             | 2,309  | 30,201         | 29,039                                  | 27,877                                     |
| 1 1/4                     | 1 1/8   |                                |        | 33,249         | 31,770                                  | 30,291                                     |
| 1 1/2                     | 1 3/8   |                                |        | 37,897         | 36,418                                  | 34,939                                     |
|                           | 1 3/4   |                                |        | 41,910         | 40,431                                  | 38,952                                     |
| 2                         | 2 1/8   |                                |        | 44,323         | 42,844                                  | 41,365                                     |
|                           | 2 1/4   |                                |        | 47,803         | 46,324                                  | 44,845                                     |
| 2 1/2                     | —       | 53,746                         | 52,267 | 50,788         |   |  |
| 2 1/2                     | —       | 59,614                         | 58,135 | 56,656         |   |  |
|                           | —       | 65,710                         | 64,231 | 62,752         |   |  |
|                           | —       | 75,184                         | 73,705 | 72,226         |   |  |

|   |                |         |         |         |         |         |
|---|----------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 3 | $2\frac{3}{4}$ | 11      | 2,309   | 81,534  | 80,055  | 78,576  |
|   | $3\frac{1}{4}$ |         |         | 87,884  | 86,405  | 84,926  |
|   | $3\frac{1}{2}$ |         |         | 93,980  | 92,501  | 91,022  |
| 4 | $3\frac{3}{4}$ |         |         | 100,330 | 98,851  | 97,372  |
|   | $4\frac{1}{2}$ |         |         | 106,680 | 105,201 | 103,722 |
| 5 | $4\frac{1}{2}$ |         |         | 113,000 | 111,551 | 110,072 |
|   | $5\frac{1}{2}$ | 125,730 | 124,251 | 222,772 |         |         |
| 6 | $5\frac{1}{2}$ | 138,430 | 136,951 | 135,472 |         |         |
|   | $5\frac{1}{2}$ | 151,130 | 149,651 | 148,172 |         |         |
|   |                |         |         | 163,830 | 162,351 | 160,872 |

**Примечание.** Основные элементы трубной цилиндрической резьбы (ГОСТ 6357-81):  $d$  – наружный диаметр наружной резьбы (трубы);  $d_1$  – внутренний диаметр наружной резьбы;  $d_2$  – средний диаметр наружной резьбы;  $D$  – наружный диаметр внутренней резьбы (муфты);  $D_1$  – внутренний диаметр внутренней резьбы;  $D_2$  – средний диаметр внутренней резьбы;  $P$  – шаг резьбы;  $H$  – высота исходного треугольника;  $H_1$  – рабочая высота профиля;  $R$  – радиус закругления вершины и впадины резьбы.

Таблица 7.7

Профиль резьбы трубной конической с углом профиля  $55^\circ$  по ГОСТ 6211-81

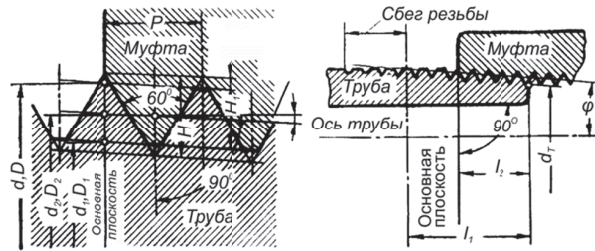
| Обозначение<br>резьбы,<br>дюймы | Число<br>шагов<br>на 1" | Шаг<br>резьбы,<br>мм | Размеры, мм  |           |                                     |               |                 |                  |                            |                            |
|---------------------------------|-------------------------|----------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|---------------|-----------------|------------------|----------------------------|----------------------------|
|                                 |                         |                      | длина резьбы |           | диаметр резьбы в основной плоскости |               |                 |                  | рабочая<br>высота<br>витка | радиус<br>закруг-<br>ления |
|                                 |                         |                      | полная       | рабочая   | сред-<br>ний                        | наруж-<br>ный | внут-<br>ренный | у торца<br>трубы |                            |                            |
| $z$                             | $p$                     | $l_1$                | $l_2$        | $d_2=D_2$ | $d=D$                               | $d_1=D_1$     | $d_T$           | $H_1$            | $R$                        |                            |
| $\frac{1}{8}$                   | 28                      | 0,907                | 9            | 4,5       | 9,148                               | 9,729         | 8,567           | 8,286            | 0,581                      | 0,125                      |
| $\frac{1}{4}$                   | 19                      | 1,337                | 11           | 6         | 12,302                              | 13,158        | 11,446          | 11,071           | 0,856                      | 0,184                      |
| $\frac{3}{8}$                   | 19                      | 1,337                | 12           | 6         | 15,807                              | 16,663        | 14,951          | 14,576           | 0,856                      | 0,184                      |
| $\frac{1}{2}$                   | 14                      | 1,814                | 15           | 7,5       | 19,794                              | 20,956        | 18,632          | 18,163           | 1,162                      | 0,249                      |
| $\frac{3}{4}$                   | 14                      | 1,814                | 17           | 9,5       | 25,281                              | 26,442        | 24,119          | 23,524           | 1,162                      | 0,249                      |
| 1                               | 11                      | 2,309                | 19           | 11        | 31,771                              | 33,250        | 30,293          | 29,606           | 1,479                      | 0,317                      |
| $1\frac{1}{4}$                  | 11                      | 2,309                | 22           | 13        | 40,433                              | 41,912        | 35,954          | 38,142           | 1,479                      | 0,317                      |
| $1\frac{1}{2}$                  | 11                      | 2,309                | 23           | 14        | 46,326                              | 47,805        | 44,817          | 43,972           | 1,479                      | 0,317                      |
| 2                               | 11                      | 2,309                | 26           | 16        | 58,137                              | 59,616        | 59,659          | 55,659           | 1,479                      | 0,317                      |
| $2\frac{1}{2}$                  | 11                      | 2,309                | 30           | 18,5      | 73,708                              | 75,187        | 72,230          | 71,074           | 1,479                      | 0,317                      |
| 3                               | 11                      | 2,309                | 32           | 20,5      | 86,409                              | 87,887        | 84,930          | 83,649           | 1,479                      | 0,317                      |
| 4                               | 11                      | 2,309                | 38           | 25,5      | 111,556                             | 113,034       | 110,077         | 108,483          | 1,479                      | 0,317                      |
| 5                               | 11                      | 2,309                | 41           | 28,5      | 136,957                             | 138,435       | 135,478         | 133,697          | 1,479                      | 0,317                      |
| 6                               | 11                      | 2,309                | 45           | 31,5      | 162,357                             | 163,836       | 160,879         | 154,910          | 1,479                      | 0,317                      |

**Примечания:**

- Основная плоскость есть заданное сечение, в котором диаметры резьбы (наружный, средний и внутренний) точно равны номинальным диаметрам цилиндрической трубной резьбы того же размера (ГОСТ 6357-81).
- Размер  $d_T$  приведен в таблице как справочный.
- Размер  $l_1$  относится к длине как наружной, так и внутренней резьбы.
- При любом значении  $l_2$  в пределах поля допуска разность  $l_1 - l_2$  для наружной резьбы должна быть не менее разности указанных в таблице величин  $l_1$  и  $l_2$ .
- $d$  – наружный диаметр наружной конической резьбы;  $d_1$  – внутренний диаметр наружной конической резьбы;  $d_2$  – средний диаметр наружной конической резьбы;  $D$  – наружный диаметр внутренней конической резьбы;  $D_1$  – внутренний диаметр внутренней конической резьбы;  $D_2$  – средний диаметр внутренней конической резьбы;  $P$  – шаг резьбы;  $\phi$  – угол конуса;  $(\phi/2)$  – угол наклона;  $H$  – высота исходного треугольника;  $H_1$  – рабочая высота профиля;  $R$  – радиус закругления вершины и впадины резьбы;  $C$  – срез вершин и впадин резьбы;  $l_1$  – полная;  $l_2$  – рабочая от торца трубы до основной плоскости.

Таблица 7.8

Профиль резьбы трубной конической с углом профиля 60° по ГОСТ 6111–52



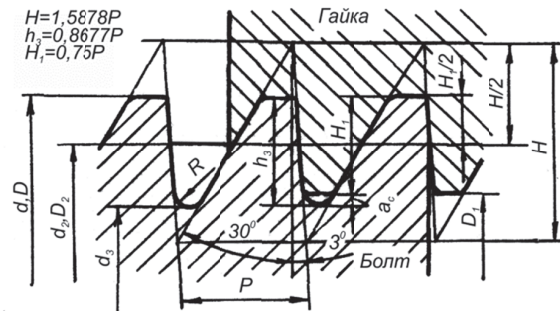
| Обозначение резьбы, дюймы | Число шагов на 1" | Размеры, мм    |                |                                |                                     |                                |                |                | рабочая высота витка |
|---------------------------|-------------------|----------------|----------------|--------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|----------------|----------------|----------------------|
|                           |                   | шаг резьбы     | длина резьбы   |                                | диаметр резьбы в основной плоскости |                                |                |                |                      |
|                           |                   |                | полная         | рабочая                        | средний                             | наружный                       | внутренний     | у торца трубы  |                      |
| z                         | P                 | l <sub>1</sub> | l <sub>2</sub> | d <sub>2</sub> =D <sub>2</sub> | d=D                                 | d <sub>1</sub> =D <sub>1</sub> | d <sub>T</sub> | H <sub>1</sub> |                      |
| 1/16                      | 27                | 0,941          | 6,5            | 4,064                          | 7,142                               | 7,895                          | 6,389          | 6,135          | 0,753                |
| 1/8                       | 27                | 0,941          | 7,0            | 4,572                          | 9,519                               | 10,272                         | 8,766          | 8,480          | 0,753                |
| 1/4                       | 18                | 1,411          | 9,5            | 5,040                          | 12,443                              | 13,572                         | 11,314         | 10,997         | 1,129                |
| 3/8                       | 18                | 1,411          | 10,5           | 6,096                          | 15,926                              | 17,055                         | 14,797         | 14,416         | 1,129                |
| 1/2                       | 14                | 1,814          | 13,5           | 8,128                          | 19,772                              | 21,223                         | 18,321         | 17,813         | 1,451                |
| 3/4                       | 14                | 1,814          | 14,0           | 8,611                          | 25,117                              | 26,568                         | 23,666         | 23,128         | 1,451                |
| 1                         | 11 1/2            | 2,209          | 17,5           | 10,160                         | 31,451                              | 33,223                         | 29,694         | 29,059         | 1,767                |
| 1 1/4                     | 11 1/2            | 2,209          | 18,0           | 10,668                         | 40,218                              | 41,985                         | 35,451         | 37,784         | 1,767                |
| 1 1/2                     | 11 1/2            | 2,209          | 18,5           | 10,668                         | 46,287                              | 48,054                         | 44,520         | 43,853         | 1,767                |
| 2                         | 11 1/2            | 2,209          | 19,0           | 11,074                         | 58,325                              | 60,092                         | 56,558         | 55,866         | 1,767                |

Примечания:

- Основная плоскость есть заданное сечение, в котором диаметры резьбы (наружный, средний и внутренний) точно равны диаметрам цилиндрических труб того же размера.
- Размер d<sub>T</sub> приведен в таблице как справочный.

Таблица 7.9

Профиль резьбы упорной с углом профиля 30° по ГОСТ 10177–82



| Шаг, P | Высота витка           |                         | Зазор, a <sub>c</sub> | Радиус Скругления, R | Шаг, P | Высота витка           |                         | Зазор, a <sub>c</sub> | Радиус скругления, R |
|--------|------------------------|-------------------------|-----------------------|----------------------|--------|------------------------|-------------------------|-----------------------|----------------------|
|        | полная, h <sub>3</sub> | рабочая, H <sub>1</sub> |                       |                      |        | полная, h <sub>3</sub> | рабочая, H <sub>1</sub> |                       |                      |
| 2      | 1,736                  | 1,5                     | 0,236                 | 0,249                | 12     | 10,413                 | 9                       | 1,413                 | 1,491                |
| 3      | 2,603                  | 2,25                    | 0,353                 | 0,373                | 16     | 13,854                 | 12                      | 1,884                 | 1,988                |
| 4      | 3,471                  | 3                       | 0,471                 | 0,497                | 20     | 16,355                 | 15                      | 2,355                 | 2,485                |
| 5      | 4,339                  | 3,75                    | 0,589                 | 0,621                | 24     | 20,826                 | 18                      | 2,826                 | 1,982                |
| 6      | 5,207                  | 4,5                     | 0,707                 | 0,746                | 32     | 27,769                 | 24                      | 3,769                 | 3,977                |
| 8      | 6,942                  | 6                       | 0,942                 | 0,994                | 40     | 34,711                 | 30                      | 4,711                 | 4,971                |
| 10     | 8,678                  | 7,5                     | 1,178                 | 1,243                | 48     | 41,653                 | 36                      | 5,653                 | 5,965                |

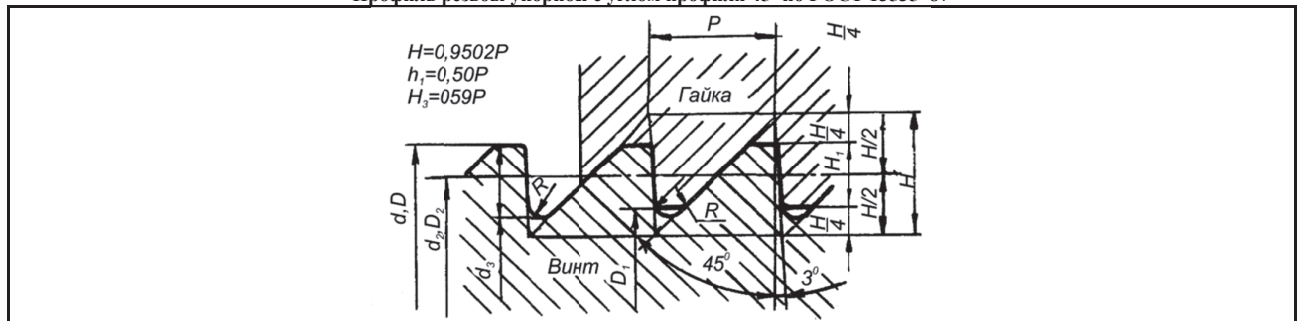
Таблица 7.10

## Основные размеры резьбы упорной по ГОСТ 10177-82

| Диаметр резьбы |                                |                |                | Диаметр резьбы |                                |                |                | Диаметр резьбы |                                |                |                | Диаметр резьбы |                                |                |                |
|----------------|--------------------------------|----------------|----------------|----------------|--------------------------------|----------------|----------------|----------------|--------------------------------|----------------|----------------|----------------|--------------------------------|----------------|----------------|
| d=D            | d <sub>2</sub> =D <sub>2</sub> | d <sub>3</sub> | D <sub>1</sub> | d=D            | d <sub>2</sub> =D <sub>2</sub> | d <sub>3</sub> | D <sub>1</sub> | d=D            | d <sub>2</sub> =D <sub>2</sub> | d <sub>3</sub> | D <sub>1</sub> | d=D            | d <sub>2</sub> =D <sub>2</sub> | d <sub>3</sub> | D <sub>1</sub> |
| P = 2          |                                |                |                | 40             | 37,750                         | 34,794         | 35,5           | P = 6          |                                |                |                | P = 10         |                                |                |                |
| 10             | 8,5                            | 6,528          | 7              | 42             | 39,750                         | 36,794         | 37,5           | 30             | 25,5                           | 19,586         | 21             | 36             | 28,5                           | 18,644         | 21             |
| 12             | 10,5                           | 8,528          | 9              | 46             | 43,750                         | 40,794         | 41,5           | 32             | 27,5                           | 21,586         | 23             | 38             | 30,5                           | 20,644         | 25             |
| 14             | 12,5                           | 10,528         | 11             | 50             | 47,750                         | 44,794         | 45,5           | 34             | 29,5                           | 23,586         | 25             | 42             | 34,5                           | 24,644         | 27             |
| 16             | 14,5                           | 12,528         | 13             | 55             | 52,750                         | 49,794         | 50,5           | 36             | 31,5                           | 25,586         | 27             | 65             | 57,5                           | 47,644         | 50             |
| 18             | 16,5                           | 14,528         | 15             | 60             | 57,750                         | 54,794         | 55,5           | 40             | 35,5                           | 29,586         | 31             | 70             | 62,5                           | 52,644         | 55             |
| 20             | 18,5                           | 16,528         | 17             | P = 4          |                                |                |                | 42             | 37,5                           | 31,586         | 33             | 75             | 67,5                           | 57,644         | 60             |
| 22             | 20,5                           | 18,528         | 19             | 65             | 62,0                           | 58,058         | 59             | P = 8          |                                |                |                | 80             | 72,5                           | 62,644         | 65             |
| 24             | 22,5                           | 20,528         | 21             | 70             | 67,0                           | 63,058         | 64             | 28             | 22,0                           | 14,116         | 16             | P = 12         |                                |                |                |
| 26             | 24,5                           | 22,528         | 23             | 75             | 72,0                           | 68,058         | 69             | 44             | 38,0                           | 30,116         | 32             | 50             | 41,0                           | 29,174         | 32             |
| P = 3          |                                |                |                | 80             | 77,0                           | 73,058         | 74             | 46             | 40,0                           | 32,116         | 34             | 55             | 46,0                           | 34,174         | 37             |
| 30             | 27,75                          | 24,794         | 25,5           | P = 5          |                                |                |                | 50             | 44,0                           | 36,116         | 38             | 60             | 51,0                           | 39,174         | 42             |
| 32             | 29,75                          | 26,794         | 27,5           | 85             | 81,250                         | 76,322         | 77,5           | 52             | 46,0                           | 38,116         | 40             | 85             | 76,0                           | 64,174         | 67             |
| 34             | 31,750                         | 28,794         | 29,5           | 90             | 86,250                         | 81,322         | 82,5           | 55             | 49,0                           | 41,116         | 43             | P = 16         |                                |                |                |
| 36             | 33,750                         | 30,794         | 31,5           | 95             | 91,250                         | 86,322         | 87,5           | 60             | 54,0                           | 46,116         | 48             | 75             | 63,0                           | 47,232         | 51             |
| 38             | 35,750                         | 32,794         | 33,5           | 100            | 96,250                         | 91,322         | 92,5           |                |                                |                |                | 80             | 68                             | 52,232         | 56             |

Таблица 7.11

## Профиль резьбы упорной с углом профиля 45° по ГОСТ 13535-87



| d   | P  | Диаметр резьбы |                                 |                |                | d   | P  | Диаметр резьбы |                                 |                |                |
|-----|----|----------------|---------------------------------|----------------|----------------|-----|----|----------------|---------------------------------|----------------|----------------|
|     |    | d = D          | d <sub>2</sub> = D <sub>2</sub> | d <sub>3</sub> | D <sub>1</sub> |     |    | d = D          | d <sub>2</sub> = D <sub>2</sub> | d <sub>3</sub> | D <sub>1</sub> |
| 80  | 5  | 80             | 77,624                          | 74,102         | 75,000         | 140 | 5  | 140            | 137,624                         | 134,102        | 135,000        |
|     | 8  |                | 76,199                          | 70,562         | 72,000         |     |    |                | 135,249                         | 128,204        | 130,000        |
| 85  | 5  | 85             | 82,624                          | 79,102         | 80,000         | 150 | 6  | 150            | 147,149                         | 142,922        | 144,000        |
|     | 8  |                | 81,199                          | 75,562         | 77,000         |     |    |                | 145,249                         | 138,204        | 140,000        |
| 90  | 5  | 90             | 87,624                          | 84,102         | 85,000         | 160 | 6  | 160            | 157,149                         | 152,922        | 154,000        |
|     | 8  |                | 86,199                          | 80,562         | 82,000         |     |    |                | 155,249                         | 148,204        | 150,000        |
| 95  | 5  | 95             | 92,624                          | 89,102         | 90,000         | 170 | 6  | 170            | 167,149                         | 162,922        | 164,000        |
|     | 8  |                | 91,199                          | 85,562         | 87,000         |     |    |                | 165,249                         | 158,204        | 160,000        |
| 100 | 5  | 100            | 97,624                          | 94,102         | 95,000         | 180 | 6  | 180            | 177,149                         | 172,922        | 174,000        |
|     | 8  |                | 96,199                          | 90,562         | 92,000         |     |    |                | 175,249                         | 168,204        | 170,000        |
| 105 | 5  | 105            | 102,624                         | 99,102         | 100,000        | 190 | 6  | 190            | 187,149                         | 182,922        | 184,000        |
|     | 8  |                | 101,199                         | 95,562         | 97,000         |     |    |                | 184,299                         | 175,844        | 178,000        |
| 110 | 5  | 110            | 107,624                         | 104,102        | 105,000        | 200 | 8  | 200            | 196,199                         | 190,562        | 192,000        |
|     | 8  |                | 106,199                         | 100,562        | 102,000        |     |    |                | 194,299                         | 185,844        | 188,000        |
| 120 | 5  | 120            | 117,624                         | 114,102        | 115,000        | 210 | 8  | 210            | 206,199                         | 200,562        | 202,000        |
|     | 8  |                | 116,199                         | 110,562        | 112,000        |     |    |                | 204,299                         | 195,844        | 198,000        |
| 125 | 5  | 125            | 122,624                         | 119,102        | 120,000        | 220 | 8  | 220            | 216,199                         | 210,562        | 212,000        |
|     | 8  |                | 121,199                         | 115,562        | 117,000        |     |    |                | 214,299                         | 205,844        | 208,000        |
| 130 | 5  | 130            | 127,624                         | 124,102        | 125,000        | 240 | 8  | 240            | 236,199                         | 230,562        | 232,000        |
|     | 10 |                | 125,249                         | 118,204        | 120,000        |     |    |                | 234,299                         | 225,844        | 228,000        |
| 500 | 12 | 500            | 494,299                         | 485,844        | 488,000        | 950 | 16 | 950            | 942,398                         | 931,124        | 934,000        |
|     | 20 |                | 490,498                         | 476,406        | 480,000        |     |    |                | 934,797                         | 912,250        | 918,000        |



7.2. ЭЛЕМЕНТЫ РЕЗЬБЫ (СБЕГИ, НЕДОРЕЗЫ, ПРОТОЧКИ И ФАСКИ, мм)

Таблица 7.12

Сбег и недорезы для резьбы наружной метрической по ГОСТ 10549-80

| Шаг резьбы, P | Номинальный диаметр резьбы, d | Сбег $x_{max}$            |                          | Недорез $a_{max}$       |                       |                      | Фаска, с |
|---------------|-------------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------|----------------------|----------|
|               |                               | нормальный $\approx 2,5P$ | короткий $\approx 1,25P$ | нормальный $\approx 3P$ | короткий $\approx 2P$ | длинный $\approx 4P$ |          |
| 0,20          | —                             | 0,5                       | 0,25                     | 0,6                     | 0,4                   | —                    | 0,4      |
| 0,25          | 1; 1,1; 1,2                   | 0,6                       | 0,3                      | 0,75                    | 0,5                   | —                    | 0,5      |
| 0,30          | 1,4                           | 0,75                      | 0,4                      | 0,9                     | 0,6                   | —                    | 0,6      |
| 0,35          | 1,6                           | 0,9                       | 0,45                     | 1,05                    | 0,7                   | —                    | 0,7      |
| 0,40          | 2                             | 1,0                       | 0,5                      | 1,2                     | 0,8                   | —                    | 0,8      |
| 0,45          | 2,5                           | 1,1                       | 0,6                      | 1,35                    | 0,9                   | —                    | 0,9      |
| 0,50          | 3                             | 1,25                      | 0,7                      | 1,5                     | 1,0                   | —                    | 1,0      |
| 0,60          | 3,5                           | 1,5                       | 0,75                     | 1,8                     | 1,2                   | —                    | 1,2      |
| 0,70          | 4                             | 1,75                      | 0,9                      | 2,1                     | 1,4                   | —                    | 1,4      |
| 0,75          | 4,5                           | 1,9                       | 1                        | 2,25                    | 1,5                   | —                    | 1,5      |
| 0,80          | 5                             | 2,0                       | 1                        | 2,4                     | 1,6                   | 3,2                  | 1,6      |
| 1,00          | 6                             | 2,5                       | 1,25                     | 3                       | 2                     | 4                    | 2,0      |
| 1,25          | 8                             | 3,2                       | 1,6                      | 4                       | 2,5                   | 5                    | 2,5      |
| 1,50          | 10                            | 3,8                       | 1,9                      | 4,5                     | 3                     | 6                    | 3,0      |
| 1,75          | 12                            | 4,3                       | 2,2                      | 5,3                     | 3,5                   | 7                    | 3,5      |
| 2,00          | 14; 16                        | 5                         | 2,5                      | 6                       | 4                     | 8                    | 4,0      |
| 2,50          | 18; 20; 22                    | 6,3                       | 3,2                      | 7,5                     | 5                     | 10                   | 5        |
| 3,00          | 24; 27                        | 7,5                       | 3,8                      | 9                       | 6                     | 12                   | 6        |
| 3,50          | 30; 33                        | 9                         | 4,5                      | 10,5                    | 7                     | 14                   | 7        |
| 4,00          | 36; 39                        | 10                        | 5                        | 12                      | 8                     | 16                   | 8        |
| 4,50          | 42; 45                        | 11                        | 5,5                      | 13                      | 9                     | 18                   | 9        |
| 5,00          | 48; 52                        | 12                        | 6,3                      | 15                      | 10                    | 20                   | 10       |
| 5,50          | 56; 60                        | 14                        | 7                        | 16,5                    | 11                    | 22                   | 11       |
| 6,00          | 64; 68                        | 15                        | 7,5                      | 18,5                    | 12                    | 24                   | 12       |

Таблица 7.13

Проточки для резьбы наружной метрической по ГОСТ 10549-80

| Шаг резьбы, P | Диаметр резьбы, d | Проточка   |      |            |      | $d_f$     | $R \approx 0,5P$ |
|---------------|-------------------|------------|------|------------|------|-----------|------------------|
|               |                   | $f_{1min}$ |      | $f_{2max}$ |      |           |                  |
|               |                   | Н          | У    | Н          | У    |           |                  |
| 0,20          | —                 | 0,45       | 0,25 | 0,7        | 0,5  | $d - 0,3$ | 0,1              |
| 0,25          | 1; 1,1; 1,2       | 0,55       | 0,25 | 0,9        | 0,6  | $d - 0,4$ | 0,12             |
| 0,30          | 1,4               | 0,6        | 0,3  | 1,05       | 0,75 | $d - 0,5$ | 0,15             |
| 0,35          | 1,6               | 0,7        | 0,4  | 1,2        | 0,9  | $d - 0,6$ | 0,17             |
| 0,40          | 2                 | 0,8        | 0,5  | 1,4        | 1    | $d - 0,7$ | 0,2              |
| 0,45          | 2,5               | 1          | 0,5  | 1,6        | 1,1  | $d - 0,7$ | 0,22             |
| 0,50          | 3                 | 1,1        | 0,5  | 1,75       | 1,25 | $d - 0,8$ | 0,25             |
| 0,60          | 3,5               | 1,2        | 0,6  | 2,1        | 1,5  | $d - 1$   | 0,3              |
| 0,70          | 4                 | 1,5        | 0,8  | 2,45       | 1,75 | $d - 1,1$ | 0,35             |
| 0,75          | 4,5               | 1,6        | 0,9  | 2,6        | 1,9  | $d - 1,2$ | 0,4              |
| 0,80          | 5                 | 1,7        | 0,9  | 2,8        | 2    | $d - 1,3$ | 0,4              |
| 1,00          | 6                 | 2,1        | 1,1  | 3,5        | 2,5  | $d - 1,6$ | 0,5              |
| 1,25          | 8                 | 2,7        | 1,5  | 4,4        | 3,2  | $d - 2$   | 0,6              |
| 1,50          | 10                | 3,2        | 1,8  | 5,2        | 3,8  | $d - 2,3$ | 0,75             |
| 1,75          | 12                | 3,9        | 2,1  | 6,1        | 4,3  | $d - 2,6$ | 0,9              |
| 2,00          | 14; 16            | 4,5        | 2,5  | 7          | 5    | $d - 3$   | 1                |

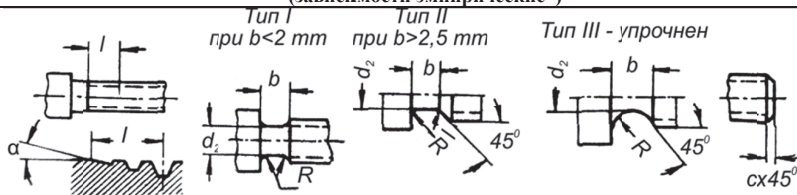
Окончание таблицы 7.13

|      |            |      |     |      |      |         |      |
|------|------------|------|-----|------|------|---------|------|
| 2,50 | 18; 20; 22 | 5,6  | 3,2 | 8,7  | 6,3  | d - 3,6 | 1,25 |
| 3,00 | 24; 27     | 6,7  | 3,7 | 10,5 | 7,5  | d - 4,4 | 1,5  |
| 3,50 | 30; 33     | 7,7  | 4,7 | 12   | 9    | d - 5   | 1,75 |
| 4,00 | 36; 39     | 9    | 5   | 14   | 10   | d - 5,7 | 2    |
| 4,50 | 42; 45     | 10,5 | 5,5 | 16   | 11   | d - 6,4 | 2,25 |
| 5,00 | 48; 52     | 11,5 | 6,5 | 17,5 | 12,5 | d - 7   | 2,5  |
| 5,50 | 56; 60     | 12,5 | 7,5 | 19   | 14   | d - 7,7 | 2,75 |
| 6,00 | 64; 68     | 14   | 8   | 21   | 15   | d - 8,8 | 3    |

Примечание. Проточка: Н – нормальная; У – узкая.

Таблица 7.14

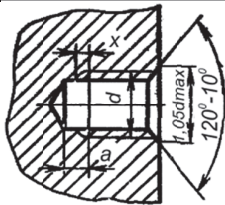
Сбеги, недорезы, проточки и фаски для наружной метрической резьбы  
(зависимости эмпирические\*)



| Шаг резьбы, Р | Сбег  |     | Проточки            |      |         |                |            |         | Фаска, с   |  |     |         |      |         |     |     |     |     |     |     |
|---------------|-------|-----|---------------------|------|---------|----------------|------------|---------|------------|--|-----|---------|------|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|               | I     |     | b                   |      |         | d <sub>2</sub> | R          |         | r          | при сопряжении с внутренней резьбой с проточкой типа |     |         |      |         |     |     |     |     |     |     |
|               | при α |     | тип I и II проточка |      | тип III |                | тип I и II | тип III |            | I и II   | III |         |      |         |     |     |     |     |     |     |
|               | 25°   | 45° | Н                   | У    |         | тип III        |            |         | тип I и II |  |     | тип III |      |         |     |     |     |     |     |     |
| 0,2           | 0,5   | 0,2 | 1                   | 0,8  | -       | -              | -          | -       | -          | 0,2  | -   |         |      |         |     |     |     |     |     |     |
| 0,25          |       |     |                     |      |         |                |            |         |            |  |     |         |      |         |     |     |     |     |     |     |
| 0,3           |       |     |                     |      |         |                |            |         |            |  |     |         |      |         |     |     |     |     |     |     |
| 0,35          |       |     |                     |      |         |                |            |         |            |  |     |         |      |         |     |     |     |     |     |     |
| 0,4           |       |     |                     |      |         |                |            |         |            |  |     |         |      |         |     |     |     |     |     |     |
| 0,45          |       |     |                     |      |         |                |            |         |            |  |     |         |      |         |     |     |     |     |     |     |
| 0,5           | 1     | 0,4 | 1,5                 | 1    | -       | -              | -          | -       | 0,5        | -  |     |         |      |         |     |     |     |     |     |     |
| 0,6           |       |     |                     |      |         |                |            |         |            |  |     |         |      |         |     |     |     |     |     |     |
| 0,7           |       |     |                     |      |         |                |            |         |            |  |     |         |      |         |     |     |     |     |     |     |
| 0,75          | 1,5   | 0,6 |                     |      |         |                |            |         |            |  | 2   | 1,5     | 2,1  | d - 1,5 | 0,5 | 1   | 0,7 | 1   |     |     |
| 0,8           |       |     |                     |      |         |                |            |         |            |  |     |         |      |         |     |     |     |     |     |     |
| 1             |       |     |                     |      |         |                |            |         |            |  |     |         |      |         |     |     |     |     |     |     |
| 1,25          | 2     | 0,9 | 3                   | 1,8  | 2,3     | d - 1,8        | 1          | 2       | 1          | 1  |     |         |      |         |     |     |     |     |     |     |
| 1,5           |       |     |                     |      |         |                |            |         |            |  |     |         |      |         |     |     |     |     |     |     |
| 1,75          |       |     |                     |      |         |                |            |         |            |  |     |         |      |         |     |     |     |     |     |     |
| 2             | 3,0   | 1,5 |                     |      |         |                |            |         |            |  | 4   | 2,5     | 3,7  | d - 2,2 | 1   | 2,5 | 0,5 | 1,5 | 2,5 |     |
| 2,5           |       |     |                     |      |         |                |            |         |            |  |     |         |      |         |     |     |     |     |     |     |
| 3             |       |     |                     |      |         |                |            |         |            |  |     |         |      |         |     |     |     |     |     |     |
| 3,5           | 4,5   | 2   | 5                   | 3,5  | 4,5     | d - 2,5        | 1,5        | 4       | 1          | 2  |     |         |      |         |     |     |     |     |     | 4   |
| 4             |       |     |                     |      |         |                |            |         |            |  |     |         |      |         |     |     |     |     |     |     |
| 4,5           |       |     |                     |      |         |                |            |         |            |  |     |         |      |         |     |     |     |     |     |     |
| 5             | 5,5   | 2,5 |                     |      |         |                |            |         |            |  | 8   | 4,5     | 6,8  | d - 3   | 2   | 5,5 | 1   | 2,5 | 5,5 |     |
| 6             |       |     |                     |      |         |                |            |         |            |  |     |         |      |         |     |     |     |     |     |     |
| 7             |       |     |                     |      |         |                |            |         |            |  |     |         |      |         |     |     |     |     |     |     |
| 7,5           | 7,5   | 3,5 | 10                  | 5,5  | 10,3    | d - 6          | 3          | 7       | 1          | 3  |     |         |      |         |     |     |     |     |     | 7   |
| 8             |       |     |                     |      |         |                |            |         |            |  |     |         |      |         |     |     |     |     |     |     |
| 9             |       |     |                     |      |         |                |            |         |            |  |     |         |      |         |     |     |     |     |     |     |
| 9             | 8,5   | 4   |                     |      |         |                |            |         |            |  | 6   | 12,3    | 12,9 | d - 6,8 | 3   | 7,5 | 1   | 3,5 | 7,5 |     |
| 10            |       |     |                     |      |         |                |            |         |            |  |     |         |      |         |     |     |     |     |     |     |
| 11            |       |     |                     |      |         |                |            |         |            |  |     |         |      |         |     |     |     |     |     |     |
| 12            | 9     | 4   | 8                   | 15,5 | 15,5    | d - 9          | 8,5        | 8,5     | 1          | 4  |     |         |      |         |     |     |     |     |     | 8,5 |
| 13            |       |     |                     |      |         |                |            |         |            |  |     |         |      |         |     |     |     |     |     |     |
| 14            |       |     |                     |      |         |                |            |         |            |  |     |         |      |         |     |     |     |     |     |     |

Примечание. \* Позволяют определять параметры резьбы в шагах. Проточка: Н – нормальная; У – узкая.

Сбег, недорезы для резьбы внутренней метрической по ГОСТ 10549-80

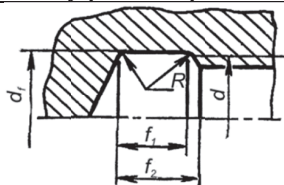


| Шаг резьбы, P | Диаметр резьбы, d | Сбег $x_{max}$ |     |     | Недорезы $\alpha_{min}$ |     |     |
|---------------|-------------------|----------------|-----|-----|-------------------------|-----|-----|
|               |                   | Н              | К   | Д   | Н                       | К   | Д   |
| 0,20          | —                 | 0,4            | 0,3 | 0,8 | 1,6                     | 1   | 2   |
| 0,25          | 1; 1,2            | 0,5            | 0,3 | 1   | 1,8                     | 1,2 | 2,5 |
| 0,30          | 1,4               | 0,6            | 0,4 | 1,2 | 2                       | 1,2 | 2,8 |
| 0,35          | 1,6               | 0,7            | 0,4 | 1,4 | 2,2                     | 1,5 | 3,2 |
| 0,40          | 2                 | 0,8            | 0,6 | 1,6 | 2,5                     | 1,5 | 3,5 |
| 0,45          | 2,5               | 0,9            | 0,6 | 1,8 | 3                       | 3   | 4   |
| 0,50          | 3                 | 1              | 0,8 | 2   | 3                       | 2   | 5   |
| 0,60          | 3,5               | 1,2            | 0,8 | 2,4 | 3,5                     | 2,5 | 5,5 |
| 0,70          | 4                 | 1,4            | 1   | 2,8 | 3,5                     | 2,5 | 6   |
| 0,75          | —                 | 1,5            | 1   | 3   | 4                       | 2,5 | 7   |
| 0,80          | 5                 | 1,6            | 1,2 | 3,2 | 4                       | 2,5 | 8   |
| 1,00          | 6                 | 2              | 1,5 | 4   | 6                       | 4   | 10  |
| 1,25          | 8                 | 2,5            | 1,8 | 5   | 8                       | 4   | 12  |
| 1,50          | 10                | 3              | 2   | 6   | 9                       | 4   | 13  |
| 1,75          | 12                | 3,5            | 2,5 | 7   | 11                      | 5   | 16  |
| 2,00          | 14; 16            | 4              | 3   | 8   | 11                      | 5   | 16  |
| 2,50          | 18; 20; 22        | 5              | 3,5 | 10  | 12                      | 6   | 18  |
| 3,00          | 24; 27            | 6              | 4   | 12  | 15                      | 7   | 22  |
| 3,50          | 30; 32            | 7              | 5   | 14  | 17                      | 8   | 25  |
| 4,00          | 36; 39            | 8              | 6   | 16  | 19                      | 9   | 28  |
| 4,50          | 42; 45            | 8              | 6   | 18  | 23                      | 11  | 33  |
| 5,00          | 48; 52            | 10             | 7   | 20  | 26                      | 12  | 37  |
| 5,50          | 56; 60            | 11             | 8   | 22  | 28                      | 13  | 40  |
| 6,00          | 64; 68            | 12             | 9   | 24  | 28                      | 13  | 42  |

Примечание. Сбег: Н – нормальный; Д – длинный; К – короткий.

Таблица 7.16

Проточки для резьбы внутренней метрической по ГОСТ 10549-80



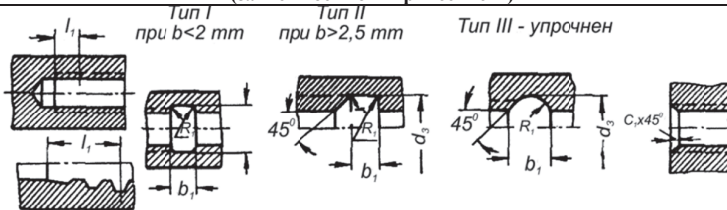
| Шаг резьбы P | Диаметр резьбы d | Проточка   |      |            |      | $d_f$   | $R \approx 0,5P$ |
|--------------|------------------|------------|------|------------|------|---------|------------------|
|              |                  | $f_{1min}$ |      | $f_{2max}$ |      |         |                  |
|              |                  | Н          | К    | Н          | К    |         |                  |
| 0,2          | —                | 0,8        | 0,5  | 1,2        | 0,9  | $d+0,1$ | 0,1              |
| 0,25         | 1; 1,2           | 1          | 0,6  | 1,4        | 1    | $d+0,1$ | 0,12             |
| 0,3          | 1,4              | 1,2        | 0,75 | 1,6        | 1,25 | $d+0,1$ | 0,15             |
| 0,35         | 1,6              | 1,4        | 0,9  | 1,9        | 1,4  | $d+0,2$ | 0,17             |
| 0,4          | 2                | 1,6        | 1    | 2,2        | 1,6  | $d+0,2$ | 0,2              |
| 0,45         | 2,5              | 1,8        | 1,1  | 2,4        | 1,7  | $d+0,2$ | 0,22             |
| 0,5          | 3                | 2          | 1,25 | 2,7        | 2    | $d+0,3$ | 0,25             |
| 0,6          | 3,5              | 2,4        | 1,5  | 3,3        | 2,4  | $d+0,3$ | 0,3              |
| 0,7          | 4                | 2,8        | 1,75 | 3,8        | 2,75 | $d+0,3$ | 0,35             |
| 0,75         | —                | 3          | 1,9  | 4          | 2,9  | $d+0,3$ | 0,4              |
| 0,8          | 5                | 3,2        | 2    | 4,2        | 3    | $d+0,3$ | 0,4              |
| 1            | 6                | 4          | 2,5  | 5,2        | 3,7  | $d+0,5$ | 0,5              |
| 1,25         | 8                | 5          | 3,2  | 6,7        | 4,9  | $d+0,5$ | 0,6              |
| 1,5          | 10               | 6          | 3,8  | 7,8        | 5,6  | $d+0,5$ | 0,75             |
| 1,75         | 12               | 7          | 4,3  | 9,1        | 6,4  | $d+0,5$ | 0,9              |
| 2            | 14; 16           | 8          | 5    | 10,3       | 7,3  | $d+0,5$ | 1                |
| 2,5          | 18; 20; 22       | 10         | 10   | 6,3        | 13   | $d+0,5$ | 1,25             |

Окончание таблицы 7.16

|     |        |    |      |      |      |       |      |
|-----|--------|----|------|------|------|-------|------|
| 3   | 24; 27 | 12 | 7,5  | 15,2 | 10,7 | d+0,5 | 1,5  |
| 3,5 | 30; 32 | 14 | 9    | 17,7 | 12,7 | d+0,5 | 1,75 |
| 4   | 36; 39 | 16 | 10   | 20   | 14   | d+0,5 | 2    |
| 4,5 | 42; 45 | 18 | 11   | 23   | 16   | d+0,5 | 2,25 |
| 5   | 48; 52 | 20 | 12,5 | 26   | 18,5 | d+0,5 | 2,5  |
| 5,5 | 56; 60 | 22 | 14   | 28   | 20   | d+0,5 | 2,75 |
| 6   | 64; 68 | 24 | 15   | 30   | 21   | d+0,5 | 3    |

Примечание. Проточки: Н – нормальная, К – короткая.

Таблица 7.17

Сбеги, проточки, недорезы и фаски для внутренней метрической резьбы  
(зависимости эмпирические\*\*)

| Сбег          |                            | Проточки       |      |                |                |            |                | Фаска          |  |     |
|---------------|----------------------------|----------------|------|----------------|----------------|------------|----------------|----------------|--|-----|
| шаг резьбы, Р | l <sub>1</sub><br>не более | b <sub>1</sub> |      | d <sub>3</sub> | R <sub>1</sub> |            | r <sub>1</sub> | c <sub>1</sub> |  |     |
|               |                            | Тип I и II     |      |                | Тип III        | Тип I и II |                | Тип III        | при сопряжении с внутренней резьбой с проточкой типа |     |
|               |                            | проточка       |      |                |                |            |                |                | I и II   | III |
|               |                            | Н              | У    |                |                |            |                |                |  |     |
| 0,2           | 1                          | –              | –    | –              | –              | –          | –              | 0,2            | –  |     |
| 0,25          |                            | –              | –    | –              | –              | –          | –              | –              | –  |     |
| 0,3           |                            | –              | –    | –              | –              | –          | –              | –              | –  |     |
| 0,35          |                            | 1*             | –    | d + 0,2        | 0,3            | –          | –              | 0,3            | –  |     |
| 0,4           |                            | –              | –    | –              | –              | –          | –              | –              | –  |     |
| 0,45          |                            | –              | –    | –              | –              | –          | –              | –              | –  |     |
| 0,5           | –                          | 1*             | 0,8* | d + 0,2        | 0,3            | –          | –              | 0,5            | –  |     |
| 0,6           | 1,2                        | –              | –    | –              | –              | –          | –              | –              | –  |     |
| 0,7           | 1,4                        | –              | –    | –              | –              | –          | –              | –              | –  |     |
| 0,75          | 1,5                        | 1,5*           | 1*   | d + 0,2        | 0,5            | –          | –              | –              | –  |     |
| 0,8           | 1,6                        | –              | –    | –              | –              | –          | –              | 0,7            | –  |     |
| 1             | 2                          | 2              | 1,5  | 2,1            | d + 0,2        | 0,5        | 1              | –              | 1  |     |
| 1,25          | 2,5                        | 3              | 1,8  | 2,3            | –              | 1          | –              | 0,5            | 1  |     |
| 1,5           | 3                          | –              | 2,5  | 3,7            | d + 0,3        | –          | 2              | –              | 2  |     |
| 1,75          | 3,5                        | 4              | –    | 4,5            | –              | –          | 2,5            | –              | 2,5  |     |
| 2             | 4                          | 5              | 3,5  | 4,8            | d + 0,4        | 1,5        | –              | –              | –  |     |
| 2,5           | 5                          | 6              | –    | 6,8            | –              | –          | 4              | 1              | 2  | 4   |
| 3             | 6                          | –              | 4,5  | 7,5            | d + 0,6        | –          | –              | –              | –  | –   |
| 3,5           | 7                          | 8              | –    | 9,6            | –              | –          | 2              | 5,5            | –  | 5,5 |

Окончание таблицы 7.17

|     |    |    |     |      |         |   |     |     |     |     |
|-----|----|----|-----|------|---------|---|-----|-----|-----|-----|
| 4   | 8  |    | 5,5 | 10,3 | d + 0,8 |   |     |     | 3   |     |
| 4,5 | 9  | 10 | 6   | 12,3 |         | 3 | 7   |     |     | 7   |
| 5   | 10 |    | 6,5 | 12,9 |         |   |     | 1,5 | 3,5 |     |
| 5,5 | –  | 12 | 7,5 | 13,9 | d + 1   |   | 7,5 |     | 4   | 7,5 |
| 6   |    |    | 8   | 15,5 |         |   | 8,5 |     |     | 8,5 |

Примечание. \* Ширина проточек дана для диаметров 6 мм и более. \*\*) Позволяют определять параметры резьбы в шагах.  
Проточка: Н – нормальная; У – узкая

### 7.2.1. ЭЛЕМЕНТЫ РЕЗЬБЫ КОНИЧЕСКОЙ ДЮЙМОВОЙ ПО ГОСТ 6111-52

Таблица 7.18

Сбеги, недорезы, проточки и фаски, запас резьбы и глубины сверления для резьбы конической дюймовой с углом профиля 60° по ГОСТ 10549

Для наружной резьбы Для внутренней резьбы

| Размеры резьбы, дюймы | Число витков на 1" | Наружная резьба     |                            |                |                |     |    | Внутренняя резьба       |                            |                |                |     |      |                        |
|-----------------------|--------------------|---------------------|----------------------------|----------------|----------------|-----|----|-------------------------|----------------------------|----------------|----------------|-----|------|------------------------|
|                       |                    | сбег l <sub>1</sub> | недорез l <sub>2 max</sub> | проточка       |                |     |    | сбег l <sub>3 max</sub> | недорез l <sub>4 max</sub> | проточка       |                |     |      | фаска c=c <sub>1</sub> |
| b                     | r                  |                     |                            | r <sub>1</sub> | d <sub>4</sub> | b   | r  |                         |                            | r <sub>1</sub> | d <sub>4</sub> |     |      |                        |
| 1/16                  | 27                 | 2,5                 | 3,5                        | 2              | 0,5            | 0,3 | 6  | 3,0                     | 6                          | 3              | 1,0            | 0,5 | 8,5  | 1,0                    |
| 1/8                   |                    |                     |                            |                |                |     | 8  |                         |                            |                |                |     | 10,5 |                        |
| 1/4                   | 18                 | 3,5                 | 5,5                        | 3              | 1,0            | 0,5 | 11 | 4,0                     | 9                          | 4              | 1,0            | 0,5 | 14,0 |                        |
| 3/8                   |                    |                     |                            |                |                |     | 14 |                         |                            |                |                |     | 17,5 |                        |
| 1/2                   | 14                 | 4,5                 | 6,0                        | 4              | 1,0            | 0,5 | 18 | 5,5                     | 11                         | 6              | 1,0            | 0,5 | 22,0 | 2,0                    |
| 3/4                   |                    |                     |                            |                |                |     | 23 |                         |                            |                |                |     | 27,0 |                        |
| 1                     | –                  | 5,5                 | 7,0                        | 5              | 1,6            | 0,5 | 29 | 6,5                     | 14                         | 7              | 1,6            | 1,0 | 34,0 |                        |
| 1 1/4                 |                    |                     |                            |                |                |     | 38 |                         |                            |                |                |     | 42,5 |                        |
| 1 1/2                 |                    |                     |                            |                |                |     | 44 |                         |                            |                |                |     | 48,5 |                        |
|                       |                    |                     |                            |                |                |     | 44 |                         |                            |                |                |     | 48,5 |                        |
| 2                     |                    |                     |                            |                |                |     | 56 |                         |                            |                |                |     | 60,5 |                        |

### 7.2.2. ЭЛЕМЕНТЫ РЕЗЬБЫ ТРУБНОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПО ГОСТ 6357

Таблица 7.19

Сбеги, недорезы, проточки и фаски для резьбы трубной цилиндрической по ГОСТ 10549-80

Для наружной резьбы Для внутренней резьбы

| Размеры резьбы, дюймы | Число витков на 1" | Наружная резьба       |                          |          |                |                |      | Внутренняя резьба |                       |                          |                |                |     |      |             |
|-----------------------|--------------------|-----------------------|--------------------------|----------|----------------|----------------|------|-------------------|-----------------------|--------------------------|----------------|----------------|-----|------|-------------|
|                       |                    | сбег l <sub>max</sub> | недорез b <sub>max</sub> | проточка |                |                |      | фаска c×45°       | сбег l <sub>max</sub> | недорез b <sub>max</sub> | проточка       |                |     |      | фаска c×45° |
| b <sub>1</sub>        | R                  |                       |                          | r        | d <sub>2</sub> | b <sub>1</sub> | r    |                   |                       |                          | R <sub>1</sub> | d <sub>2</sub> |     |      |             |
| 1/8                   | 28                 | 1,6                   | 2,5                      | 2,5      | 1,0            | 0,5            | 8    | 1,0               | 2,2                   | 4                        | 4              | 1,0            | 0,5 | 10,0 | 1,0         |
| 1/4                   | 18                 | 2,4                   | 4,0                      | 4        | 1,0            | 0,5            | 11   | 1,6               | 3,3                   | 5                        | 5              | 1,6            |     | 13,5 |             |
| 3/8                   |                    |                       |                          |          |                |                | 14,5 |                   |                       |                          |                |                |     | 17,0 |             |
| 1/2                   | 14                 | 4,5                   | 5,0                      | 5        | 1,6            | 0,5            | 18   | 2,0               | 4,8                   | 8                        | 8              | 2,0            | 1,0 | 21,5 | 1,6         |
| 3/4                   |                    |                       |                          |          |                |                | 23,5 |                   |                       |                          |                |                |     | 27,0 |             |



|                  |    |     |     |   |     |       |     |     |      |    |     |      |
|------------------|----|-----|-----|---|-----|-------|-----|-----|------|----|-----|------|
| 1                |    |     |     |   |     | 29,5  |     |     |      |    |     | 34,0 |
| 1 <sup>1/4</sup> |    |     |     |   |     | 38    |     |     |      |    |     | 43   |
| 1 <sup>1/2</sup> |    |     |     |   |     | 44    |     |     |      |    |     | 48,5 |
| 2                |    |     |     |   |     | 56    |     |     |      |    |     | 60,5 |
| 2 <sup>1/2</sup> | 11 | 4,1 | 6,0 | 6 | 1,0 | 71,5  | 2,5 | 6,0 | 10,0 | 10 | 3,0 | 76   |
| 3                |    |     |     |   |     | 84    |     |     |      |    |     | 89   |
| 4                |    |     |     |   |     | 109   |     |     |      |    |     | 114  |
| 5                |    |     |     |   |     | 134,5 |     |     |      |    |     | 139  |
| 6                |    |     |     |   |     | 160   |     |     |      |    |     | 165  |

## 7.2.3. ЭЛЕМЕНТЫ РЕЗЬБЫ ТРАПЕЦЕИДАЛЬНОЙ ОДНОЗАХОДНОЙ ПО ГОСТ 9484–81

Таблица 7.20

Сбеги, проточки и фаски для трапецеидальной однозаходной резьбы по ГОСТ 10549-80

| Шаг<br>Резьбы, p | Проточка |     |                |                                |                                  | Фаска,<br>z |
|------------------|----------|-----|----------------|--------------------------------|----------------------------------|-------------|
|                  | f        | R   | R <sub>1</sub> | наружная резьба d <sub>f</sub> | внутренняя резьба d <sub>f</sub> |             |
| 2                | 3        | 1,0 | 0,5            | d – 3,0                        | d + 1,0                          | 1,6         |
| 3                | 5        | 1,6 |                | d – 4,2                        | d + 1,1                          | 2,0         |
| 4                | 6        |     | 2,0            | d – 5,2                        | d + 1,6                          | 2,5         |
| 5                | 8        | 1,0 |                | d – 7,0                        | d + 1,8                          | 3,0         |
| 6                | 10       |     |                | d – 8,0                        | d + 2,1                          | 3,5         |
| 8                | 12       | 3,0 | d – 10,2       | d + 2,8                        | 4,5                              |             |
| 10               | 16       |     | d – 12,5       | d + 3,0                        | 5,5                              |             |
| 12               | 18       |     | d – 14,5       | d + 3,5                        | 6,5                              |             |
| 16               | 25       | 5,0 | 2,0            | d – 19,5                       | d + 3,0                          | 9,0         |
| 20               |          |     |                | d – 24,0                       | d + 3,5                          | 11,0        |
| 24               |          |     |                | d – 28,0                       |                                  | 13,0        |

## 7.3. СТАНДАРТНЫЕ КРЕПЕЖНЫЕ ДЕТАЛИ

## 7.3.1. БОЛТЫ

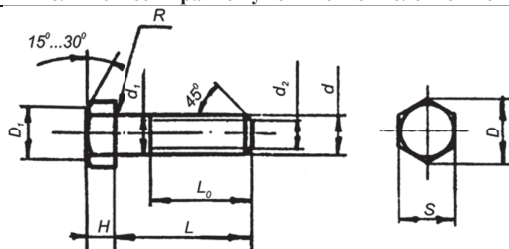
Таблица 7.21

Болты с шестигранной головкой по ГОСТ 7805-70

|                           | 4               | 5               | 6               | 8               |
|---------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Диаметр резьбы, a         | 4               | 5               | 6               | 8               |
| Шаг резьбы, P             | 0,7             | 0,8             | 1,0             | 1,25            |
| d <sub>1</sub> h13        | 4               | 5               | 6               | 8               |
| d <sub>2</sub>            | 2,5             | 3,5             | 4               | 5,5             |
| Размер "под ключ", S h 13 | 7               | 8               | 10              | 13              |
| H                         | 2,8             | 3,5             | 4               | 5,3             |
| D <sub>1</sub> не менее   | 7,7             | 8,8             | 11,1            | 14,4            |
| R                         | 0,20±0,35       |                 | 0,25±0,40       | 0,40±0,60       |
| L=L <sub>0</sub>          | 10÷14           | 10÷16           | 10÷20           | 10÷25           |
| $\frac{L}{L_0}$           | $\frac{16}{60}$ | $\frac{20}{60}$ | $\frac{25}{60}$ | $\frac{30}{60}$ |
| L <sub>0</sub>            | 14              | 16              | 18              | 22              |

Примечания:  
1. Размер L в указанных пределах брать из следующего ряда чисел: 10, 12, 14, 16, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60.  
2. Пример условного обозначения: БОЛТ М6 – 6g× 20.56.05 ГОСТ 7805-70.

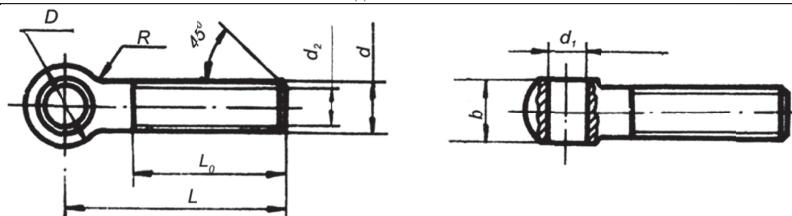
**Болты с шестигранной уменьшенной головкой по ГОСТ 7808-70**



|                           |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|---------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Диаметр резьбы, d         | 8       | 10      | 12      | 16      | 20      | 24      | 30      | 36      | 42      | 48      |
| Шаг резьбы, P             | 1,25    | 1,5     | 1,75    | 2       | 2,5     | 3       | 3,5     | 4       | 4,5     | 5       |
| d <sub>1</sub> h13        | 8       | 10      | 12      | 16      | 20      | 24      | 30      | 36      | 42      | 48      |
| d <sub>2</sub>            | 5,5     | 7       | 8,5     | 12      | 15      | 18      | 23      | 28      | 32      | 38      |
| Размер "под ключ", S h 13 | 13      | 14      | 17      | 22      | 27      | 32      | 41      | 50      | 60      | 70      |
| H                         | 5,3     | 6       | 7       | 9       | 11      | 13      | 17      | 20      | 23      | 26      |
| D, не менее               | 14,4    | 15,5    | 18,9    | 24,5    | 30,1    | 35,7    | 45,6    | 55,8    | 67,0    | 78,3    |
| R                         | 0,4±0,6 |         | 0,6±1,1 |         | 0,8±1,2 |         | 1,0±1,7 |         | 1,2±1,8 | 1,6±2,3 |
| L=L <sub>0</sub>          | 12÷25   | 12÷30   | 14÷30   | 20÷40   | 25÷50   | 35÷60   | 40÷70   | 50÷85   | 55÷100  | 65÷110  |
| L                         | 30±100  | 35±120  | 35±130  | 45±120  | 55±120  | 65±120  | 75±120  | 90±120  | 110±120 | 120±120 |
| L <sub>0</sub>            | 22      | 26      | 30      | 38      | 46      | 54      | 66      | 78      | 90      | 102     |
|                           |         | 130±200 | 130±200 | 130±200 | 130±200 | 130±200 | 130±200 | 130±200 | 130±200 | 130±200 |
|                           |         | 32      | 36      | 44      | 52      | 60      | 72      | 84      | 96      | 108     |
|                           |         |         | 220±260 | 220±300 | 220±300 | 220±300 | 220±300 | 220±300 | 220±300 | 220±300 |
|                           |         |         | 49      | 57      | 65      | 73      | 85      | 97      | 109     | 121     |

**Примечания:**  
 1. Размер L в указанных пределах брать из следующего ряда чисел: 12, 14, 16, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150, 160, 170, 180, 190, 200, 220, 240, 260, 280, 300.  
 2. Пример условного обозначения: болта с резьбой М12-6g, длиной 60 мм, класса прочности 5.6, с окисным покрытием (05): БОЛТ М12-6g × 60.56.05 ГОСТ 7808-70.  
 3. То же, с цинковым покрытием (01), толщиной 9 мкм: БОЛТ М12-6g × 60.56.019 ГОСТ 7808-70.  
 4. То же, из стали 12Х18Н9Т (группа 21), без покрытия: БОЛТ М12-6g × 60.21 ГОСТ 7808-70.

**Болты откидные по ГОСТ 3033-79**



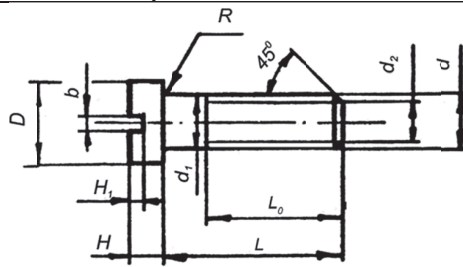
| Диаметр резьбы, d | Шаг резьбы, P | L          | l <sub>0</sub> +2P | D  | d <sub>1</sub> H12 | d <sub>2</sub> | b   | R  |   |
|-------------------|---------------|------------|--------------------|----|--------------------|----------------|-----|----|---|
| 6                 | 1             | 40         | 25                 | 12 | 5                  | 4              | 8   | 5  |   |
|                   |               | 45, 50, 55 | 30                 |    |                    |                |     |    |   |
|                   |               | 60, 65, 70 | 35                 |    |                    |                |     |    |   |
| 8                 | 1,25          | 50         | 30                 | 14 | 6                  | 5,5            | 10  | 5  |   |
|                   |               | 55, 60, 65 | 35                 |    |                    |                |     |    |   |
|                   |               | 70         | 40                 |    |                    |                |     |    |   |
| 75, 80            |               |            | 45                 |    |                    |                |     |    |   |
|                   | 10            | 1,5        | 40                 | 25 | 18                 | 8              | 7   | 12 | 6 |
|                   |               |            | 45, 50             | 30 |                    |                |     |    |   |
| 55                |               |            | 35                 |    |                    |                |     |    |   |
| 60, 65            |               |            | 40                 |    |                    |                |     |    |   |
| 70, 75, 80, 85    |               |            | 45                 |    |                    |                |     |    |   |
| 90, 95            |               |            | 55                 |    |                    |                |     |    |   |
|                   |               |            | 65                 |    |                    |                |     |    |   |
|                   | 12            | 1,75       | 60, 65             | 40 | 20                 | 10             | 8,5 | 14 | 8 |
|                   |               |            | 70, 75             | 45 |                    |                |     |    |   |
|                   |               |            | 80, 85             | 50 |                    |                |     |    |   |
| 90, 95            |               |            | 60                 |    |                    |                |     |    |   |
| 100               |               |            | 65                 |    |                    |                |     |    |   |
| 110, 125          | 75            |            |                    |    |                    |                |     |    |   |

**Примечания:**  
 1. Технические требования – по ГОСТ 3033-79.  
 2. Пример условного обозначения: откидного болта с резьбой М6-6g, длиной 40 мм, класса прочности 5.6, с окисным покрытием (05): БОЛТ М6-6g × 40.56.05 ГОСТ 3033-79.  
 3. То же, с цинковым покрытием (01), толщиной 9 мкм: БОЛТ М6-6g × 40.56.019 ГОСТ 3033-79.

## 2. ВИНТЫ

Т а б л и ц а 7.24

Винты с цилиндрической головкой по ГОСТ 1491-80

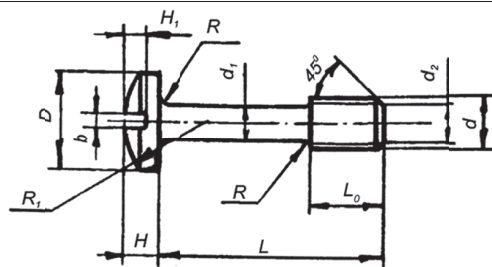


|                               |             |      |      |      |      |      |      |       |       |       |
|-------------------------------|-------------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| Диаметр резьбы, d             |             | 2    | 2,5  | 3    | 4    | 5    | 6    | 8     | 10    | 12    |
| Шаг резьбы, P                 |             | 0,4  | 0,45 | 0,5  | 0,7  | 0,8  | 1,0  | 1,25  | 1,5   | 1,75  |
| D                             |             | 3,8  | 4,5  | 5,5  | 7,0  | 8,5  | 10,0 | 13,0  | 16,0  | 18,0  |
| H                             |             | 1,3  | 1,6  | 2,0  | 2,6  | 3,3  | 3,9  | 5,0   | 6,0   | 7,0   |
| Ширина, шлица, b              | не менее    | 0,56 | 0,66 | 0,86 | 1,06 | 1,26 | 1,66 | 2,06  | 2,56  | 3,06  |
|                               | не более    | 0,70 | 0,80 | 1,00 | 1,20 | 1,51 | 1,91 | 2,31  | 2,81  | 3,31  |
| Глубина шлица, H <sub>1</sub> | не менее    | 0,60 | 0,70 | 0,90 | 1,20 | 1,50 | 1,80 | 2,30  | 2,70  | 3,20  |
|                               | не более    | 0,85 | 1,00 | 1,30 | 1,60 | 2,00 | 2,30 | 2,80  | 3,20  | 3,80  |
| R                             | не менее    | 0,1  |      |      | 0,2  |      | 0,25 | 0,4   |       | 0,6   |
|                               | не более    | —    | 0,3  |      | 0,35 |      | 0,4  | 0,6   |       | 1,1   |
| d <sub>1</sub>                |             | 2    | 2,5  | 3    | 4    | 5    | 6    | 8     | 10    | 12    |
| d <sub>2</sub>                |             | 1,0  | 1,5  | 2,0  | 2,5  | 3,5  | 4,0  | 5,5   | 7,0   | 8,5   |
| Длина резьбы L <sub>0</sub>   | номин.      | 10   | 11   | 12   | 14   | 16   | 18   | 22    | 26    | 30    |
|                               | пред. откл. | +0,8 | +0,9 | +1   | +1,4 | +1,6 | +2   | +2,5  | +3    | +3,5  |
| Длина L                       |             | 5÷20 | 5÷25 | 5÷30 | 6÷40 | 5÷50 | 8÷60 | 12÷70 | 20÷70 | 20÷70 |

*Примечание:* Размер L в указанных пределах брать из следующего ряда чисел: 5, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 70.

Т а б л и ц а 7.25

Винты невыпадающие по ГОСТ 10337-80



|                               |            |       |      |      |
|-------------------------------|------------|-------|------|------|
| Диаметр резьбы, d             |            | 2,5   | 3    | 4    |
| Шаг резьбы, P                 |            | 0,45  | 0,5  | 0,7  |
| d <sub>1</sub> , H13          |            | 1,6   | 2,0  | 2,8  |
| Длина резьбы                  | номин.     | 3     | 4    | 5    |
|                               | пред.откл. | +0,9  | +1   | +1,4 |
| D                             |            | 4,5   | 5,5  | 7,0  |
| H                             |            | 1,6   | 2,0  | 2,6  |
| R <sub>1</sub>                |            | 3,9   | 4,3  | 5,6  |
| R, не более                   |            | 0,2   |      |      |
| Ширина шлица, b               | не менее   | 0,66  | 0,86 | 1,06 |
|                               | не более   | 0,80  | 1,00 | 1,20 |
| Глубина шлица, H <sub>1</sub> | не менее   | 0,7   | 0,90 | 1,20 |
|                               | не более   | 1,00  | 1,30 | 1,60 |
| d <sub>2</sub>                |            | 1,5   | 2,0  | 2,5  |
| Длина L                       |            | 10÷25 |      |      |

*Примечание:* Размер L в указанных пределах брать из следующего ряда чисел: 8, 10, 12, 14, 16, 20, 25.

Винты с полукруглой головкой по ГОСТ 17473 – 80

|                               |             |      |      |      |      |      |      |       |
|-------------------------------|-------------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Диаметр резьбы, d             |             | 2    | 2,5  | 3    | 4    | 5    | 6    | 8     |
| Шаг резьбы, P                 |             | 0,4  | 0,45 | 0,5  | 0,7  | 0,8  | 1    | 1,25  |
| D                             |             | 3,8  | 4,5  | 5,5  | 7,0  | 8,5  | 10   | 13    |
| H                             |             | 1,4  | 1,7  | 2,1  | 2,8  | 3,5  | 4,2  | 5,6   |
| R <sub>1</sub>                |             | 2,0  | 2,4  | 2,9  | 3,6  | 4,4  | 5,1  | 6,6   |
| Ширина , шлица, b             | не менее    | 0,56 | 0,66 | 0,86 | 1,06 | 1,26 | 1,66 | 2,06  |
|                               | не более    | 0,70 | 0,80 | 1,00 | 1,20 | 1,51 | 1,91 | 2,31  |
| Глубина шлица, H <sub>1</sub> | не менее    | 6,75 | 0,90 | 1,00 | 1,60 | 2,10 | 2,30 | 3,26  |
|                               | не более    | 1,05 | 1,30 | 1,40 | 2,00 | 2,50 | 2,70 | 3,74  |
| R                             | не менее    | 0,1  |      |      | 0,2  |      | 0,25 | 0,4   |
|                               | не более    | 0,3  |      |      | 0,35 |      | 0,4  | 0,6   |
| d <sub>1</sub>                |             | 2    | 2,5  | 3    | 4    | 5    | 6    | 8     |
| d <sub>2</sub>                |             | 1,0  | 1,5  | 2,0  | 2,5  | 3,5  | 4,0  | 5,5   |
| Длина резьбы, L <sub>0</sub>  | номин       | 10   | 11   | 12   | 14   | 16   | 18   | 22    |
|                               | пред. откл. | +0,8 | +0,9 | +1   | +1,4 | +1,6 | +2   | +2,5  |
| Длина L                       |             | 4÷16 | 4÷25 | 4÷30 | 4÷40 | 6÷50 | 8÷55 | 12÷60 |

*Примечание:* Размер L в указанных пределах брать из следующего ряда чисел: 4, 5, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60.

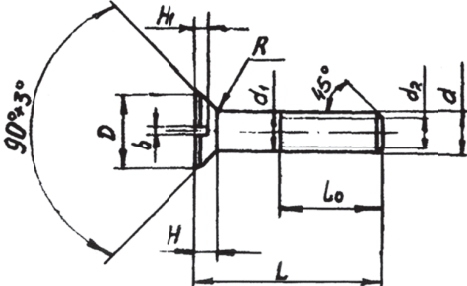
Таблица 7.27

Винты с полупотайной головкой по ГОСТ 17474 – 80

|                               |            |      |      |
|-------------------------------|------------|------|------|
| Диаметр резьбы, d             |            | 2,5  | 3    |
| Шаг резьбы, P                 |            | 0,45 | 0,5  |
| D                             |            | 4,7  | 5,6  |
| H, не более                   |            | 1,5  | 1,65 |
| H <sub>1</sub>                |            | 0,6  | 0,75 |
| R <sub>1</sub>                |            | 5,4  | 6    |
| Ширина шлица, B               | не менее   | 0,66 | 0,86 |
|                               | не более   | 0,80 | 1,00 |
| Глубина шлица, H <sub>2</sub> | не менее   | 1,00 | 1,20 |
|                               | не более   | 1,20 | 1,45 |
| R, не более                   |            | 0,25 | 0,3  |
| d <sub>1</sub>                |            | 2,5  | 3    |
| d <sub>2</sub>                |            | 1,5  | 2,0  |
| Длина резьбы, L <sub>0</sub>  | номин.     | 11   | 12   |
|                               | пред.откл. | +0,9 | +1   |

*Примечание.* Размер L – 6,8,10,20.

Винты с потайной головкой по ГОСТ 17475 – 80

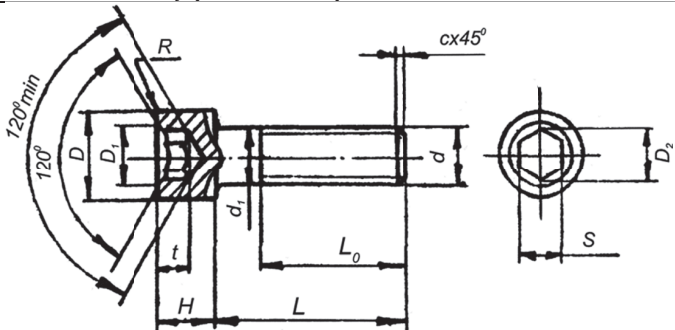


|                               |            |      |      |      |      |      |      |      |       |
|-------------------------------|------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Диаметр резьбы, d             |            | 2    | 2,5  | 3    | 4    | 5    | 6    | 8    | 10    |
| Шаг резьбы, P                 |            | 0,4  | 0,45 | 0,5  | 0,7  | 0,8  | 1,0  | 1,25 | 1,5   |
| D                             |            | 3,8  | 4,7  | 5,6  | 7,4  | 9,2  | 11,0 | 14,5 | 18,0  |
| H, не более                   |            | 1,2  | 1,5  | 1,65 | 2,2  | 2,5  | 3    | 4    | 5     |
| Ширина шлица, b               | не менее   | 0,56 | 0,66 | 0,86 | 1,06 | 1,26 | 1,66 | 2,06 | 2,56  |
|                               | не более   | 0,70 | 0,80 | 1,00 | 1,20 | 1,51 | 1,91 | 2,31 | 2,81  |
| Глубина шлица, H <sub>1</sub> | не менее   | 0,40 | 0,50 | 0,60 | 0,80 | 1,00 | 1,20 | 1,60 | 2,00  |
|                               | не более   | 0,60 | 0,73 | 0,85 | 1,10 | 1,35 | 1,60 | 2,10 | 2,60  |
| R, не более                   |            | 0,2  | 0,25 | 0,3  | 0,4  | 0,5  | 0,6  | 0,8  | 1     |
| d <sub>1</sub>                |            | 2    | 2,5  | 3    | 4    | 5    | 6    | 8    | 10    |
| d <sub>2</sub>                |            | 1,0  | 1,5  | 2,0  | 2,5  | 3,5  | 4,0  | 5,5  | 7,0   |
| Длина резьбы L <sub>0</sub>   | номин.     | 10   | 11   | 12   | 14   | 16   | 18   | 22   | 26    |
|                               | пред.откл. | +0,8 | +0,9 | +1   | +1,4 | +1,6 | +2   | +2,5 | +3    |
| Длина L                       |            | 4÷20 | 4÷25 | 4÷30 | 4÷40 | 6÷50 | 8÷70 | 8÷70 | 12÷70 |

*Примечание.* Размер L в указанных пределах брать из следующего ряда чисел: 4, 5, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70.

Таблица 7.29

Винт с внутренним шестигранником по ГОСТ 11738-84

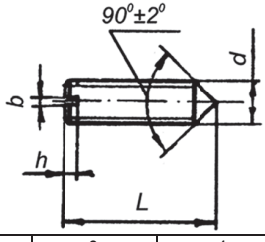
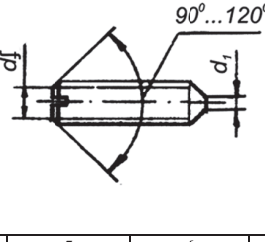


|                      |       |       |       |        |        |        |        |        |
|----------------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Диаметр резьбы, d    | 5     | 6     | 8     | 10     | 12     | 16     | 20     | 24     |
| Шаг резьбы, P        | 0,8   | 1     | 1,25  | 1,5    | 1,75   | 2      | 2,5    | 3      |
| d <sub>1</sub> , H13 | 5     | 6     | 8     | 10     | 12     | 16     | 20     | 24     |
| D, h12               | 8,5   | 10,0  | 13,0  | 16,0   | 18,0   | 24,0   | 30,0   | 36,01  |
| D <sub>1</sub>       | 4,9   | 6,1   | 7,2   | 9,7    | 12,0   | 16,7   | 20,4   | 22,7   |
| H                    | 5     | 6     | 8     | 10     | 12     | 16     | 20     | 24     |
| S                    | 4,0   | 5,0   | 6,0   | 8,0    | 10,0   | 14,0   | 17,0   | 19,0   |
| t, не менее          | 2,5   | 3,0   | 4,0   | 5,0    | 6,0    | 8,0    | 10,0   | 12,0   |
| D <sub>2</sub>       | 4,59  | 5,73  | 6,87  | 9,17   | 11,45  | 16,02  | 19,44  | 21,73  |
| C                    | 1,0   |       | 1,6   |        |        | 2,0    | 2,5    |        |
| R, не более          | 0,5   | 0,6   | 0,8   | 1,0    | 1,2    | 1,6    | 2,0    | 2,4    |
| L <sub>0</sub>       | 22    | 24    | 28    | 32     | 36     | 44     | 52     | 60     |
| L                    | 12÷50 | 12÷60 | 12÷80 | 16÷100 | 20÷130 | 25÷160 | 30÷200 | 35÷200 |

*Примечания:*  
 1. Размер L в указанных пределах брать из следующего ряда чисел: 12, 16, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150.  
 2. Пример условного обозначения винта с резьбой M12-6g, длиной 60 мм, класса прочности 5.6, с окисным покрытием (05):  
 ВИНТ M12-6g × 60.56.05 ГОСТ 11738-84.  
 3. То же, с цинковым покрытием (01), толщиной 9 мкм:  
 ВИНТ M12-6g × 60.56.019 ГОСТ 11738-84.  
 4. То же, из стали 12X18H9T (группа 21), без покрытия:  
 ВИНТ M12-6g × 60.21 ГОСТ 11738-84.



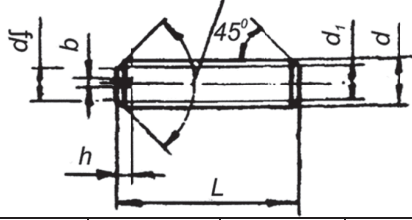
Винты установочные с коническим концом по ГОСТ 1476-84

|                           |          | Для d=5   |      |      |      | Для d=6  |       |       |
|---------------------------|----------|---|------|------|------|--|-------|-------|
|                           |          |  |      |      |      |  |       |       |
| Диаметр резьбы, d         |          | 3   | 4    | 5    | 6    | 8  | 10    | 12    |
| Шаг резьбы, P             |          | 0,5   | 0,7  | 0,8  | 1    | 1,25   | 1,5   | 1,75  |
| d <sub>1</sub> , не более |          | –   | –    | –    | 1,0  | 2,0  | 2,5   | 3,0   |
| Ширина шлица, b           | не менее | 0,46  | 0,66 | 0,86 | 1,06 | 1,26   | 1,66  | 2,07  |
|                           | не более | 0,60  | 0,80 | 1,00 | 1,20 | 1,51   | 1,91  | 2,37  |
| Глубина шлица, h          | не менее | 1,25  | 1,75 | 2,00 | 2,50 | 3,10   | 3,75  |       |
|                           | не более | 1,50  | 2,05 | 2,35 | 2,90 | 3,60   | 4,25  |       |
| d <sub>f</sub>            |          | 2,46  | 3,24 | 4,13 | 4,92 | 6,65   | 8,38  | 10,11 |
| Длина винта, L            |          | 5÷16  | 5÷20 | 5÷25 | 6÷30 | 8÷40   | 10÷50 | 12÷50 |

*Примечание.* Размер L в указанных пределах брать из следующего ряда чисел: 5, 6, 8, 10, 12, 16, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50.

Таблица 7.31

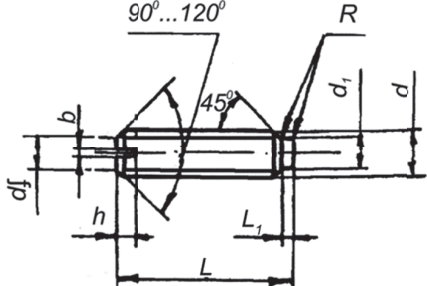
Винты установочные с плоским концом по ГОСТ 1477-84

|                   |          | 90°...120°   |      |      |      |      |       |       |  |
|-------------------|----------|--|------|------|------|------|-------|-------|--|
|                   |          |  |      |      |      |      |       |       |  |
| Диаметр резьбы, d |          | 3  | 4    | 5    | 6    | 8    | 10    | 12    |  |
| Шаг резьбы, P     |          | 0,5  | 0,7  | 0,8  | 1,0  | 1,25 | 1,5   | 1,75  |  |
| Ширина шлица, b   | не менее | 0,46   | 0,66 | 0,86 | 1,06 | 1,26 | 1,66  | 2,07  |  |
|                   | не более | 0,60   | 0,80 | 1,00 | 1,20 | 1,51 | 1,91  | 2,37  |  |
| Глубина шлица, h  | не менее | 1,25   | 1,75 | 2,00 | 2,50 | 3,10 | 3,75  |       |  |
|                   | не более | 1,50   | 2,05 | 2,35 | 2,80 | 3,60 | 4,25  |       |  |
| d <sub>f</sub>    |          | 2,46   | 3,24 | 4,13 | 4,92 | 6,65 | 8,38  | 10,11 |  |
| d <sub>1</sub>    |          | 2,0  | 2,5  | 3,5  | 4,0  | 5,5  | 7,0   | 8,5   |  |
| Длина винта, L    |          | 5÷16   | 5÷20 | 5÷25 | 6÷30 | 8÷40 | 10÷50 | 12÷50 |  |

*Примечание.* Размер L в указанных пределах брать из следующего ряда чисел: 5, 6, 8, 10, 12, 16, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50.

Таблица 7.32

Винты установочные с цилиндрическим концом по ГОСТ 1478-84

|                   |  | 90°...120°  |     |     |     |      |     |      |     |
|-------------------|--|---|-----|-----|-----|------|-----|------|-----|
|                   |  |  |     |     |     |      |     |      |     |
| Диаметр резьбы, d |  | 3   | 4   | 5   | 6   | 8    | 10  | 12   |     |
| Шаг резьбы, P     |  | 0,3   | 0,7 | 0,8 | 1   | 1,25 | 1,5 | 1,75 |     |
| d <sub>1</sub>    |  | 2,0   | 2,5 | 3,5 | 4,0 | 5,5  | 7,0 | 8,5  |     |
| L <sub>1</sub>    |  | 1,5   | 2,0 | 2,5 | 3,0 | 4,0  | 5,0 | 6,0  |     |
| R                 |  | 0,3   |     |     | 0,4 |      |     | 0,5  | 0,6 |

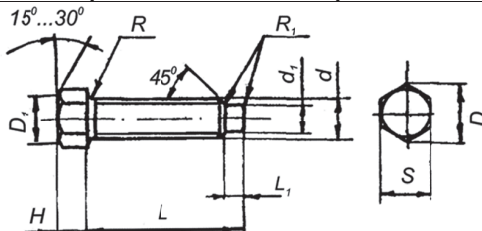
Окончание таблицы 7.32

|                  |          |      |      |      |      |       |       |       |
|------------------|----------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| Ширина шлица, b  | не менее | 0,46 | 0,66 | 0,85 | 1,06 | 1,26  | 1,66  | 2,07  |
|                  | не более | 0,60 | 0,30 | 1,00 | 1,20 | 1,51  | 1,91  | 2,37  |
| Глубина шлица, h | не менее | 1,25 | 1,75 | 2,00 | 2,5  | 3,1   | 3,75  |       |
|                  | не более | 1,30 | 2,05 | 2,35 | 2,2  | 3,6   | 4,25  |       |
| $d_f$            |          | 2,45 | 3,24 | 4,13 | 4,92 | 6,65  | 8,38  | 10,11 |
| Длина винта L    |          | 5÷15 | 6÷20 | 8÷25 | 8÷35 | 10÷40 | 10÷50 | 14÷50 |

*Примечание.* Размер L в указанных пределах брать из следующего ряда чисел: 5, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50.

Таблица 7.33

## Винты установочные с шестигранной головкой и цилиндрическим концом по ГОСТ 1481-84

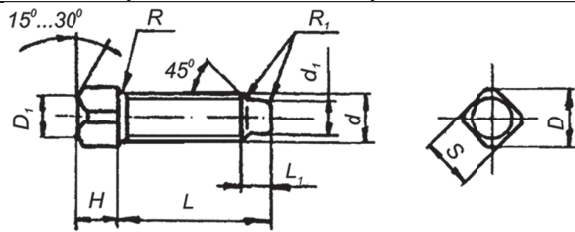


|                     |          |       |       |       |       |
|---------------------|----------|-------|-------|-------|-------|
| Диаметр резьбы, d   |          | 6     | 8     | 10    | 12    |
| Шаг резьбы, P       |          | 1     | 1,25  | 1,5   | 1,75  |
| Размер "под ключ" S |          | 8     | 10    | 12    | 14    |
| H                   |          | 5     | 6     | 7     | 9     |
| D, не менее         |          | 8,6   | 10,9  | 13,1  | 15,3  |
| R                   | не менее | 0,25  | 0,4   |       | 0,6   |
|                     | не более | 0,40  | 0,6   |       | 1,1   |
| R <sub>1</sub>      |          | 0,4   |       | 0,5   | 0,6   |
| d <sub>1</sub>      |          | 4,0   | 5,5   | 7,0   | 8,5   |
| L <sub>1</sub>      |          | 3,0   | 4,0   | 5,0   | 6,0   |
| Длина винта L       |          | 12÷35 | 16÷40 | 16÷50 | 20÷60 |

*Примечания:*  
1. Размер L в указанных пределах брать из следующего ряда чисел: 12, 16, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60.  
2. Пример условного обозначения винта с резьбой М12-6g, длиной (L) 40 мм, класса прочности I4H, с оксидным покрытием (05): ВИНТ М12-6g × 40.14H.05 ГОСТ 1481-84.

Таблица 7.34

## Винты установочные с квадратной головкой и цилиндрическим концом по ГОСТ 1482-84



|                     |          |       |       |       |       |       |        |
|---------------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Диаметр резьбы, d   |          | 6     | 8     | 10    | 12    | 16    | 20     |
| Шаг резьбы, P       |          | 1     | 1,25  | 1,5   | 1,75  | 2     | 2,5    |
| Размер "под ключ" S |          | 7     | 8     | 10    | 12    | 17    | 22     |
| H                   |          | 6     | 7     | 8     | 10    | 14    | 18     |
| D, не менее         |          | 9     | 10    | 13    | 16    | 22    | 28     |
| R                   | не менее | 0,25  | 0,4   |       | 0,6   |       | 0,8    |
|                     | не более | 0,40  | 0,6   |       | 1,1   |       | 1,2    |
| R <sub>1</sub>      |          | 0,4   |       | 0,5   | 0,6   | 0,8   | 1,0    |
| d <sub>1</sub>      |          | 4,0   | 5,5   | 7,0   | 8,5   | 12,0  | 15,1   |
| L <sub>1</sub>      |          | 3,0   | 4,0   | 5,0   | 6,0   | 8,0   | 10,0   |
| Длина винта L       |          | 12÷35 | 14÷40 | 16÷50 | 20÷60 | 25÷80 | 35÷100 |

*Примечание.* Размер L в указанных пределах брать из следующего ряда чисел: 12, 14, 16, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 90, 100.

Винты установочные с квадратной головкой и цилиндрическим концом со сферой по ГОСТ 1486 – 84

|                                   |          |       |       |       |        |
|-----------------------------------|----------|-------|-------|-------|--------|
| Диаметр резьбы, d                 | 8        | 10    | 12    | 16    | 20     |
| Шаг резьбы, P                     | 1,25     | 1,5   | 1,75  | 2,0   | 2,5    |
| Размер "под ключ", S h15 при S>19 | 8        | 10    | 12    | 17    | 22     |
| H                                 | 7        | 8     | 10    | 14    | 18     |
| D                                 | 10       | 13    | 16    | 22    | 28     |
| t                                 | 2        | 3     | 4     | 5     |        |
| R                                 | не менее | 0,4   | 0,6   | 0,8   |        |
|                                   | не более | 0,6   | 1,1   | 1,2   |        |
| R <sub>1</sub>                    | 0,4      | 0,5   | 0,6   | 0,8   | 1,0    |
| d <sub>1</sub>                    | 5,5      | 7,0   | 8,5   | 12,0  | 15,0   |
| L <sub>1</sub>                    | 2,0      | 2,5   | 3,0   | 4,0   | 5,0    |
| L <sub>2</sub>                    | 1,0      |       | 1,2   | 1,7   | 2,0    |
| Длина L                           | 14÷40    | 16÷50 | 20÷60 | 25÷80 | 40÷100 |

*Примечание.* Размер L в указанных пределах брать из следующего ряда чисел: 14, 16, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 90, 100

Таблица 7.36

Винты установочные с внутренним шестигранником и с коническим концом по ГОСТ 8878-84

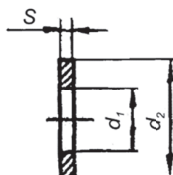
|                           |       |       |       |        |
|---------------------------|-------|-------|-------|--------|
| Диаметр резьбы, d         | 10    | 12    | 16    | 20     |
| Шаг резьбы, P             | 1,5   | 1,75  | 2     | 2,5    |
| Размер "под ключ" S       | 5     | 6     | 8     | 10     |
| D, не менее               | 5,82  | 6,96  | 9,27  | 11,55  |
| D <sub>f</sub>            | 6,1   | 7,2   | 9,7   | 12,0   |
| d <sub>f</sub>            | 8,38  | 10,11 | 13,84 | 17,29  |
| h, не менее               | 6,0   | 8,0   | 10,0  | 12,0   |
| d <sub>1</sub> , не более | 2,5   | 3,0   | 4,0   | 5,0    |
| Длина винта L             | 16÷70 | 20÷80 | 25÷90 | 30÷100 |

*Примечание.* Размер L в указанных пределах брать из следующего ряда чисел: 16, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 70, 80, 90, 100.

## 7.3.3. ШАЙБЫ

Таблица 7.37

Шайбы по ГОСТ 11371-78

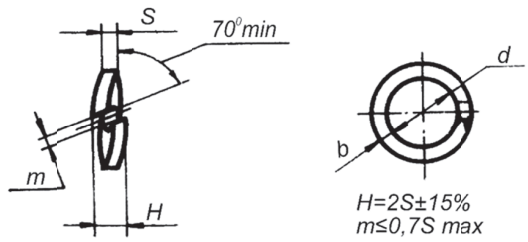


| Диаметр стержня | d <sub>1</sub><br>Н15 для S >4 | d <sub>2</sub><br>h16 | S      |             |
|-----------------|--------------------------------|-----------------------|--------|-------------|
|                 |                                |                       | номин. | пред. откл. |
| 2,0             | 2,4                            | 5,0                   | 0,3    | ±0,05       |
| 2,5             | 2,9                            | 6,5                   | 0,5    |             |
| 3,0             | 3,4                            | 7,0                   | 0,5    |             |
| 4,0             | 4,5                            | 9,0                   | 0,8    | ±0,2        |
| 5,0             | 5,5                            | 10,0                  | 1,0    | ±0,3        |
| 6,0             | 6,6                            | 12,0                  | 1,6    |             |
| 8,0             | 9,0                            | 16,0                  | 1,6    |             |
| 10,0            | 11,0                           | 20,0                  | 2,0    |             |
| 12,0            | 13,5                           | 24,0                  | 2,5    |             |
| 16,0            | 17,0                           | 30,0                  | 3,0    | ±0,6        |
| 18,0            | 19,0                           | 34,0                  | 3,0    |             |
| 20,0            | 21,0                           | 37,0                  | 3,0    |             |
| 22,0            | 23,0                           | 39,0                  | 3,0    |             |
| 24,0            | 26,0                           | 44,0                  | 4,0    |             |
| 30,0            | 33,0                           | 56,0                  | 4,0    |             |
| 36,0            | 39,0                           | 66,0                  | 5,0    | ±1          |
| 42,0            | 45,0                           | 78,0                  | 7,0    | ±1,2        |
| 48,0            | 52,0                           | 92,0                  | 8,0    |             |

**Примечания:**  
 1. Пример условного обозначения шайбы для стержня диаметром 3 мм, из стали группы 05, с окисным покрытием (05): ШАЙБА 3.05.05 ГОСТ 11371-78.  
 2. То же, из стали группы 21, без покрытия: ШАЙБА 3.21 ГОСТ 11371-78.  
 3. То же, из латуни Л63 (груша 32), с покрытием оловянным (07) толщиной 6 мкм: ШАЙБА 3.32.076 ГОСТ 11371-78

Таблица 7.38

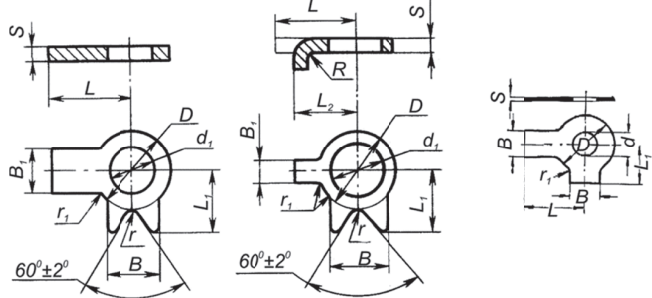
Шайбы пружинные по ГОСТ 6402-70



| Диаметры стержня болта, винта, шпильки | d    | s=b | Диаметры стержня болта, винта, шпильки | d    | s=b  |
|--|------|-----|--|------|------|
| 3                                      | 3,1  | 0,8 | 16                                     | 16,3 | 4,0  |
| 4                                      | 4,1  | 1,0 | 20                                     | 20,5 | 5,0  |
| 5                                      | 5,1  | 1,2 | 24                                     | 24,5 | 6,0  |
| 6                                      | 6,1  | 1,6 | 30                                     | 30,5 | 6,5  |
| 8                                      | 8,1  | 2,0 | 36                                     | 36,5 | 8,0  |
| 10                                     | 10,1 | 2,5 | 42                                     | 42,5 | 9,0  |
| 12                                     | 12,1 | 3,0 | 48                                     | 48,5 | 10,0 |

**Примечания:**  
 1. Материал Сталь 65 Г. Твердость 41,5...49,5HRC.  
 2. Пример условного обозначения шайбы пружинной для стержня диаметром 10 мм, из стали группы 65Г, с окисным покрытием (05): ШАЙБА 10.65Г.05 ГОСТ 6402-70.  
 3. То же, с цинковым покрытием (01), толщина 6 мкм : ШАЙБА 10.65Г.016 ГОСТ 6402-70.

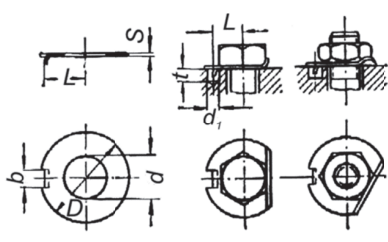
Шайбы стопорные с лапками по ГОСТ 13465-77



| Диаметр, d резьбы | d <sub>1</sub> | D  | B  | B <sub>1</sub> | L  | L <sub>1</sub> | L <sub>2</sub> | s   | r   | r <sub>1</sub> | R   |
|-------------------|----------------|----|----|----------------|----|----------------|----------------|-----|-----|----------------|-----|
| 2,6               | 2,8            | 5  | 3  | —              | 10 | 4              | —              | 0,4 | —   | 1              |     |
| 3                 | 3,2            | 5  | 4  | —              | 12 | 5              | —              |     | —   |                |     |
| 4                 | 4,3            | 8  | 5  |                | 14 | 7              |                | 0,5 |     |                |     |
| 5                 | 5,3            | 9  | 6  |                | 16 | 8              |                |     |     |                |     |
| 6                 | 6,5            | 11 | 7  |                | 18 | 9              |                | 1,0 |     | 2              |     |
| 8                 | 8,5            | 14 | 8  |                | 20 | 11             |                |     |     |                |     |
| 10                | 11             | 17 | 10 |                | 22 | 13             |                |     |     |                |     |
| 12                | 13             | 22 | 12 |                | 28 | 16             |                |     |     |                |     |
| 16                | 17             | 27 | 15 |                | 32 | 20             |                | 1,0 | 1,2 | 3              | 1,6 |
| (18)              | 19             | 27 | 18 | 6              | 24 | 22             | 18             |     | 1,2 |                |     |
| 20                | 21             | 30 | 18 | 6              | 24 | 24             | 18             | 1,2 |     |                |     |
| (22)              | 23             | 32 | 20 | 7              | 26 | 25             | 20             | 1,6 |     |                |     |
| 24                | 25             | 36 | 20 | 7              | 26 | 28             | 20             | 1,6 | 1,6 | 3              | 1,6 |
| (27)              | 28             | 41 | 24 | 8              | 28 | 30             | 22             |     |     |                |     |
| 30                | 31             | 46 | 26 | 8              | 32 | 32             | 25             |     |     |                |     |
| 36                | 37             | 55 | 30 | 11             | 38 | 38             | 30             |     |     |                |     |
| 42                | 43             | 65 | 36 | 11             | 44 | 42             | 36             | 1,6 | 2   | 4              | 2   |
| 48                | 50             | 75 | 40 | 12             | 50 | 50             | 40             |     |     |                |     |

Таблица 7.40

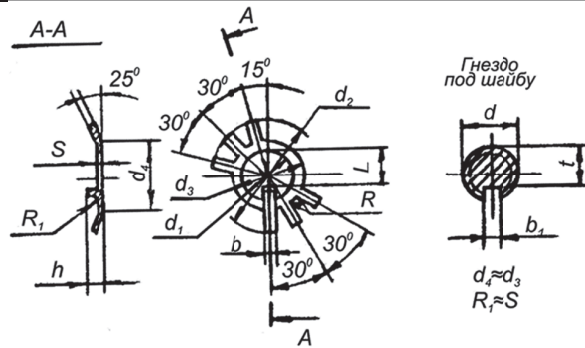
Шайбы стопорные с наружным носком, мм



| Диаметр болта | d   | D   | b   | l   | S   | t  | d <sub>1</sub> |    |
|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|----|----------------|----|
| 2,6           | 2,8 | 10  | 2   | 3,5 | 0,4 | 3  | 2,5            |    |
| 3             | 3,2 | 13  | 2,5 | 4,5 |     |    | 3              | 3  |
| 4             | 4,3 | 14  |     | 5,5 |     |    |                |    |
| 5             | 5,3 | 17  | 3,5 | 7   | 0,5 | 4  | 4              |    |
| 6             | 6,5 | 19  |     | 7,5 |     |    |                |    |
| 8             | 8,5 | 22  |     | 8,5 |     |    |                |    |
| 10            | 11  | 20  | 4,5 | 10  | 1   | 5  | 5              |    |
| 12            | 13  | 32  |     | 12  |     |    |                |    |
| 16            | 17  | 40  | 5,5 | 15  | 1   | 6  | 6              |    |
| 20            | 21  | 45  | 6   | 18  |     |    |                |    |
| 24            | 25  | 50  | 7   | 20  |     |    |                |    |
| 30            | 32  | 63  | 8   | 25  | 1,5 | 7  | 8              |    |
| 36            | 38  | 75  | 11  | 31  |     |    |                |    |
| 42            | 44  | 88  | 11  | 36  |     |    |                |    |
| 48            | 50  | 100 | 13  | 40  | 1,5 | 10 | 9              |    |
|               |     |     |     |     |     |    |                | 12 |
|               |     |     |     |     |     | 13 | 14             |    |

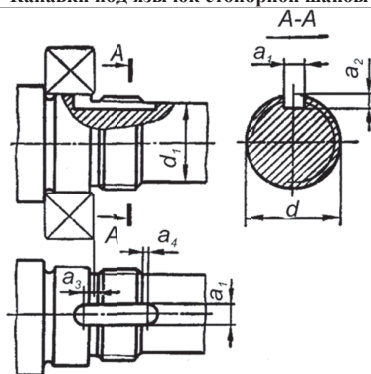


Стопорные многолапчатые шайбы по ГОСТ 11872–89



| d     | шаг  | d <sub>1</sub> | d <sub>2</sub> | d <sub>3</sub> | b    | L          | h         | R <sub>1</sub> | s    | b <sub>1</sub> | t          |
|-------|------|----------------|----------------|----------------|------|------------|-----------|----------------|------|----------------|------------|
| M10   | 1,25 | 10,5           | 26             | 16             | 3,5  | 7          | 2,5...4,0 | 0,2            |      | 3,7            | 7          |
| M12   |      | 12,5           | 28             | 18             |      | 9          |           |                |      |                |            |
| M14   |      | 14,5           | 30             | 20             |      | 11         |           |                |      |                |            |
| M16   | 1,5  | 16,5           | 32             | 22             | 4,8  | 13         | 3,5...6,0 | 1,0            |      | 5,0            | 13         |
| M18   |      | 18,5           | 34             | 24             |      | 15         |           |                |      |                |            |
| M20   |      | 20,5           | 37             | 27             |      | 17         |           |                |      |                |            |
| M22   |      | 22,5           | 40             | 30             |      | 19         |           |                |      |                |            |
| M24   |      | 24,5           | 44             | 33             |      | 21         |           |                |      |                |            |
| M27   |      | 27,5           | 47             | 36             |      | 24         |           |                |      |                |            |
| M30   |      | 30,5           | 50             | 39             | 27   | 5,8        | 4,5...8,0 | 0,5            |      | 6,0            | 27         |
| M33   |      | 33,5           | 54             | 42             | 30   |            |           |                |      |                |            |
| M36   |      | 36,5           | 58             | 45             | 33   |            |           |                |      |                |            |
| M39   |      | 39,5           | 62             | 48             | 36   |            |           |                |      |                |            |
| M42   |      | 42,5           | 67             | 52             | 39   |            |           |                |      |                |            |
| M45   |      | 45,5           | 72             | 56             | 42   |            |           |                |      |                |            |
| M48   | 48,5 | 77             | 60             | 45             | 7,8  | 5,5...10,0 | 0,8       |                | 8,0  | 45             |            |
| M52   | 52,5 | 82             | 65             | 49             |      |            |           |                |      |                |            |
| M56   | 57,0 | 87             | 70             | 53             |      |            |           |                |      |                |            |
| M60   | 61,0 | 92             | 75,5           | 57             |      |            |           |                |      |                |            |
| M64   | 65,0 | 97             | 80             | 61             |      |            |           |                |      |                |            |
| M68   | 69   | 102            | 85             | 65             |      |            |           |                |      | 9,5            | 6,5...13,0 |
| M72   | 73   | 107            | 90             | 69             |      |            |           |                |      |                |            |
| M76   | 77   | 112            | 95             | 73             |      |            |           |                |      |                |            |
| M80   | 81   | 117            | 100            | 76             |      |            |           |                |      |                |            |
| M85   | 86   | 122            | 105            | 81             |      |            |           |                |      |                |            |
| M90   | 91   | 127            | 110            | 86             | 13,5 |            |           |                | 14,0 |                |            |
| M95   | 96   | 132            | 115            | 91             |      |            |           |                |      |                |            |
| M100  | 101  | 137            | 120            | 95             |      |            |           |                |      |                |            |
| M 110 | 111  | 152            | 130            | 106            |      |            |           |                |      |                |            |
| M 120 | 121  | 162            | 140            | 116            |      |            |           |                |      |                |            |
| M 130 | 131  | 172            | 150            | 126            |      |            |           |                |      |                |            |
| M 140 | 141  | 182            | 160            | 136            |      |            |           |                |      |                |            |

Канавки под язычок стопорной шайбы

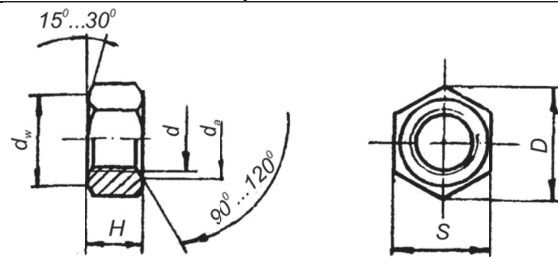


| Резьба, d   | a <sub>1</sub> | a <sub>2</sub> | a <sub>3</sub> | a <sub>4</sub> | d <sub>1</sub> |
|-------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| M10×1,25    | 3,7            | 2              | 3              | 1              | 8              |
| M12×1,25    | 4              | 2              | 3              | 1              | 10             |
| M14×1,5     | 4              | 2              | 3              | 1              | 11             |
| M16×1,5     | 5              | 2              | 3              | 1              | 13             |
| M18×1,5     | 5              | 2              | 3              | 1              | 15             |
| M20×1,5     | 5              | 3              | 3,5            | 1              | 17             |
| M22×1,5     | 5              | 3              | 3,5            | 1              | 19             |
| M24×1,5     | 5              | 3              | 3,5            | 1              | 21             |
| M 27×1,5    | 5              | 3              | 4,0            | 1,5            | 24             |
| M30×1,5     | 6              | 3              | 4,0            | 1,5            | 27             |
| M33×1,5     | 6              | 3              | 4,0            | 1,5            | 30             |
| M36×1,5     | 6              | 3              | 4,0            | 1,5            | 33             |
| M39×1,5     | 6              | 3              | 4,0            | 1,5            | 36             |
| M42×1,5     | 8              | 3              | 5,0            | 1,5            | 38,5           |
| M45×1,5     | 8              | 3              | 5,0            | 1,5            | 41,5           |
| M48×1,5     | 8              | 3              | 5,0            | 1,5            | 44,5           |
| M52×1,5     | 8              | 3              | 5,0            | 1,5            | 48,0           |
| M56 × 2,0   | 8              | 3              | 5,0            | 2,0            | 52,0           |
| M60 × 2,0   | 8              | 3              | 6,0            | 2,0            | 56,0           |
| M64 × 2,0   | 8              | 3              | 6,0            | 2,0            | 60,0           |
| M68 × 2,0   | 10             | 3              | 7,0            | 2,0            | 64,0           |
| M72 × 2,0   | 10             | 4              | 7,0            | 2,0            | 68,0           |
| M76 × 2,0   | 10             | 4              | 7,0            | 2,0            | 72,0           |
| M80 × 2,0   | 10             | 4              | 7,0            | 2,0            | 76,0           |
| M85 × 2,0   | 10             | 4              | 7,0            | 2,0            | 80,0           |
| M90 × 2,0   | 12             | 4              | 8,0            | 2,0            | 85,0           |
| M95 × 2,0   | 12             | 4              | 8,0            | 2,0            | 90,0           |
| M100 × 2,0  | 12             | 5              | 8,0            | 2,0            | 95,0           |
| M 110 × 2,0 | 14             | 5              | 9,0            | 2,0            | 105,0          |
| M 120 × 2,0 | 14             | 5              | 9,0            | 2,0            | 115,0          |
| M 130 × 2,0 | 14             | 5              | 9,0            | 2,0            | 125,0          |
| M 140 × 2,0 | 14             | 5              | 9,0            | 2,0            | 135,0          |

## 7.3.4. ГАЙКИ

Т а б л и ц а 7.43

Гайки шестигранные по ГОСТ 5927-70



| Диаметр резьбы, d | Шаг резьбы, P | S      |              | D<br>не менее | d <sub>n</sub> |          | d <sub>w</sub><br>не менее | H    |
|-------------------|---------------|--------|--------------|---------------|----------------|----------|----------------------------|------|
|                   |               | номин. | поле допуска |               | не менее       | не более |                            |      |
| 2                 | 0,4           | 4      | h13          | 4,3           | 2,0            | 2,3      | 3,6                        | 1,6  |
| 2,5               | 0,45          | 5      |              | 5,5           | 2,5            | 2,9      | 4,5                        | 2    |
| 3                 | 0,5           | 5,5    |              | 6             | 3              | 3,45     | 5,0                        | 2,4  |
| 4                 | 0,7           | 7      |              | 7,7           | 4              | 4,6      | 6,3                        | 3,2  |
| 5                 | 0,8           | 8      |              | 8,8           | 5              | 5,75     | 7,2                        | 4,7  |
| 6                 | 1             | 10     |              | 11,1          | 6              | 6,75     | 9,0                        | 5,2  |
| 8                 | 1,25          | 13     |              | 14,4          | C              | 8,75     | 11,7                       | 6,8  |
| 10                | 1,5           | 17     |              | 18,9          | 10             | 10,8     | 15,6                       | 8,4  |
| 12                | 1,75          | 19     |              | 21,1          | 12             | 13,0     | 17,4                       | 10,8 |
| 16                | 2             | 24     |              | 26,8          | 16             | 17,3     | 22,5                       | 14,8 |
| 20                | 2,5           | 30     |              | 33,5          | 20             | 21,0     | 28,2                       | 18   |
| 24                | 3             | 36     |              | 40,0          | 24             | 25,9     | 33,6                       | 21,5 |
| 30                | 3,0           | 46     |              | 51,3          | 30             | 32,4     | 43,1                       | 25,6 |
| 36                | 4             | 55     | h14          | 61,3          | 36             | 30,9     | 51,5                       | 31   |
| 42                | 4,5           | 65     |              | 72,3          | 42             | 45,4     | 61,0                       | 34   |
| 48                | 5             | 75     |              | 83,9          | 48             | 51,8     | 70,5                       | 38   |

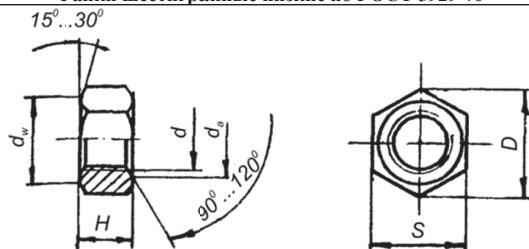
**Примечания:**

1. Пример условного обозначения гайки с резьбой М16-6Н, класса прочности 6, с окисным покрытием (05): ГАЙКА М16-6Н.6.05 ГОСТ 5927-70.

2. То же, с цинковым покрытием (01), толщиной 9 мкм : ГАЙКА М16-6Н.6.019 ГОСТ 5927-70

Т а б л и ц а 7.44

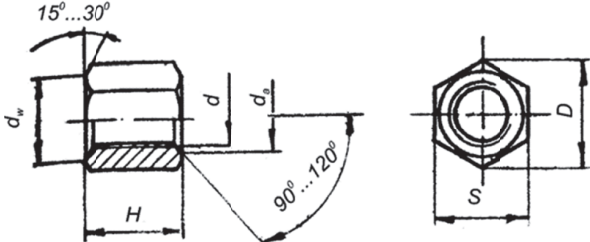
Гайки шестигранные низкие по ГОСТ 5929-70



| Диаметр резьбы, d | шаг резьбы, P | S      |              | D<br>не менее | d <sub>n</sub> |          | d <sub>w</sub><br>не менее | H    |    |
|-------------------|---------------|--------|--------------|---------------|----------------|----------|----------------------------|------|----|
|                   |               | номин. | поле допуска |               | не менее       | не более |                            |      |    |
| 2                 | 0,4           | 4      | H13          | 4,3           | 2,0            | 2,3      | 3,6                        | 1,2  |    |
| 2,5               | 0,45          | 5      |              | 5,5           | 2,5            | 2,9      | 4,5                        | 1,6  |    |
| 3                 | 0,5           | 5,5    |              | 6             | 3              | 3,45     | 5,0                        | 1,8  |    |
| 8                 | 1,25          | 13     |              | 14,4          | 8              | 8,75     | 11,7                       | 4    |    |
| 10                | 1,5           | 17     |              | 18,9          | 10             | 10,8     | 15,6                       | 5    |    |
| 12                | 1,75          | 19     |              | 21,1          | 12             | 13,0     | 17,4                       | 6    |    |
| 16                | 2             | 24     |              | 26,8          | 16             | 17,3     | 22,5                       | 8    |    |
| 20                | 2,5           | 30     |              | 33,5          | 20             | 21,6     | 28,2                       | 10   |    |
| 24                | 3             | 36     |              | 40,0          | 24             | 25,9     | 33,6                       | 12   |    |
| 30                | 3,5           | 46     |              | 51,3          | 30             | 32,4     | 43,1                       | 15   |    |
| 36                | 4             | 55     |              | h14           | 61,3           | 36       | 38,9                       | 51,5 | 18 |
| 42                | 4,5           | 65     |              |               | 72,3           | 42       | 45,4                       | 61,0 | 21 |
| 48                | 5             | 75     |              |               | 83,9           | 48       | 51,8                       | 70,5 | 24 |

Таблица 7.45

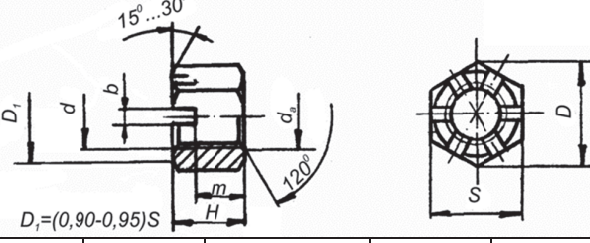
Гайки шестигранные высокие по ГОСТ 5931-70



| Диаметр резьбы, d | Шаг резьбы, P | S  | D <sub>1</sub> | d <sub>a</sub> |      | d <sub>w</sub> | H  |
|-------------------|---------------|----|----------------|----------------|------|----------------|----|
| 16                | 2             | 24 | 26,8           | 16             | 17,3 | 22,5           | 24 |
| 20                | 2,5           | 30 | 33,5           | 20             | 21,6 | 28,2           | 30 |
| 24                | 3             | 36 | 40,0           | 24             | 25,9 | 33,6           | 36 |
| 30                | 3,5           | 46 | 51,3           | 30             | 32,4 | 43,1           | 45 |
| 36                | 4             | 55 | 61,3           | 36             | 38,9 | 51,5           | 54 |
| 42                | 4,5           | 65 | 72,6           | 42             | 45,4 | 61,0           | 63 |
| 48                | 5             | 75 | 83,9           | 48             | 51,8 | 70,5           | 71 |

Таблица 7.46

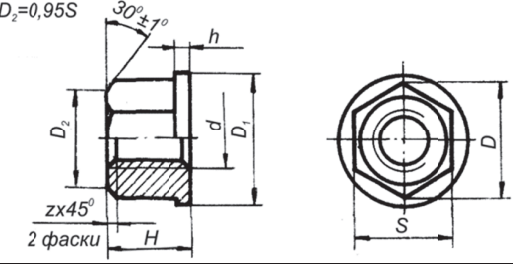
Гайки шестигранные прорезные и корончатые по ГОСТ 5932-73



| d резьбы, | Шаг P резьбы | S  | H   | D    | b   | m   | d <sub>a</sub> | Шплинт |
|-----------|--------------|----|-----|------|-----|-----|----------------|--------|
| M8        | 1,25         | 13 | 9,5 | 14,4 | 2,5 | 6,5 | 8,4            | 2x20   |
| M10       | 1,5          | 17 | 12  | 18,9 | 2,8 | 8   | 10,4           | 2,5x25 |
| M12       | 1,75         | 19 | 15  | 21,1 | 3,5 | 10  | 12,5           | 3,2x32 |
| M16       | 2            | 24 | 19  | 26,8 | 4,5 | 13  | 16,6           | 4x36   |
| M20       | 2,5          | 30 | 22  | 33   | 4,5 | 16  | 20,8           | 4x40   |
| M24       | 3            | 36 | 27  | 40,3 | 5,5 | 19  | 24,9           | 5x45   |
| M30       | 3,5          | 46 | 33  | 51,6 | 7   | 24  | 31,2           | 6,3x63 |
| M36       | 4            | 55 | 38  | 61,7 | 7   | 29  | 37,4           | 6,3x71 |
| M42       | 4,5          | 65 | 46  | 73,0 | 9   | 34  | 43,7           | 8x80   |
| M48       | 5            | 75 | 50  | 84,3 | 9   | 38  | 50             | 8x90   |

Таблица 7.47

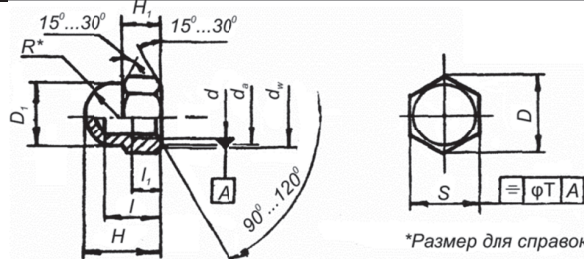
Гайки шестигранные с буртиком по ГОСТ 8918-69



| d   | S  | H  | D    | D <sub>1</sub> | h | Z   |
|-----|----|----|------|----------------|---|-----|
| M6  | 10 | 9  | 11,5 | 14             | 2 | 1,0 |
| M8  | 14 | 12 | 16,2 | 18             |   |     |
| M10 | 17 | 15 | 19,6 | 22             | 3 | 1,6 |
| M12 | 19 | 18 | 21,9 | 25             |   |     |
| M16 | 24 | 24 | 27,7 | 30             | 4 | 2,0 |
| M20 | 30 | 30 | 34,6 | 38             |   |     |
| M24 | 36 | 36 | 41,6 | 45             | 5 | 2,5 |
| M30 | 46 | 45 | 53,1 | 58             |   |     |
| M36 | 55 | 54 | 63,5 | 68             | 7 | 3,0 |

Таблица 7.48

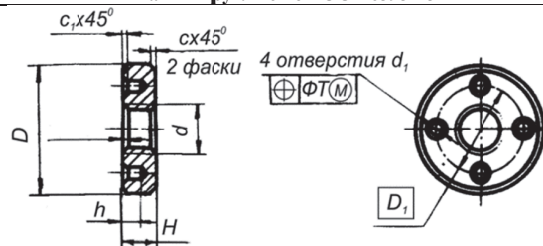
Гайки колпачковые по ГОСТ 11860-85



| Диаметр резьбы, d | Шаг резьбы, P | D    | D <sub>1</sub> | H    | H <sub>1</sub> | l  | l <sub>1</sub> | R    | d <sub>a</sub> | d <sub>w</sub> | S  | T    |
|-------------------|---------------|------|----------------|------|----------------|----|----------------|------|----------------|----------------|----|------|
| 4                 | 0,7           | 7,7  | 6,5            | 9,0  | 3,2            | 6  | 3              | 3,2  | 4,6            | 6,3            | 7  | 0,72 |
| 5                 | 0,8           | 8,8  | 7,5            | 10,0 | 4,0            | 7  | 3,8            | 3,7  | 5,75           | 7,2            | 8  |      |
| 6                 | 1,0           | 11,1 | 9,5            | 12,0 | 5,0            | 8  | 4              | 4,7  | 6,75           | 9,0            | 10 |      |
| 8                 | 1,25          | 14,4 | 12,5           | 15,0 | 6,5            | 11 | 6              | 6,2  | 8,75           | 11,7           | 13 | 0,86 |
| 10                | 1,5           | 18,9 | 16,0           | 18,0 | 8,0            | 13 | 7              | 8,0  | 10,8           | 15,6           | 17 |      |
| 12                | 1,75          | 21,1 | 18,0           | 22,0 | 10,0           | 16 | 9              | 9,0  | 13,0           | 17,4           | 19 | 1,04 |
| 16                | 2,0           | 26,7 | 23,0           | 18,0 | 13,0           | 21 | 13             | 11,5 | 17,3           | 22,5           | 24 |      |
| 20                | 2,5           | 33,5 | 28,0           | 34,0 | 16,0           | 26 | 16             | 14   | 21,6           | 28,2           | 30 |      |
| 24                | 3             | 40,0 | 34,0           | 38,0 | 19,0           | 29 | 19             | 17   | 25,9           | 33,6           | 36 | 1,24 |

Таблица 7.49

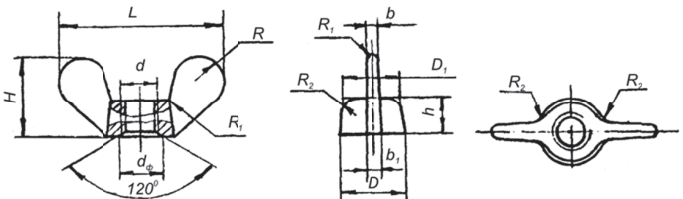
Гайки круглые по ГОСТ 6393-73



| Диаметр резьбы, d | Шаг резьбы, P | D   | D <sub>1</sub> | T    | d <sub>1</sub> | H    | h   | C   | C <sub>1</sub> | C <sub>2</sub> |
|-------------------|---------------|-----|----------------|------|----------------|------|-----|-----|----------------|----------------|
| 16                | 1,5           | 30  | 22             | 0,16 | 3,5            | 8    | 5,0 | 1,0 | 0,4            | 1,6            |
| 18                |               | 32  | 24             |      |                |      |     |     |                |                |
| 20                |               | 34  | 27             |      |                |      |     |     |                |                |
| 22                |               | 38  | 30             |      |                |      |     |     |                |                |
| 24                |               | 42  | 34             | 0,2  | 4,0            | 10   | 7,0 | 1,0 | 0,6            | 1,6            |
| 27                |               | 45  | 34             |      |                |      |     |     |                |                |
| 30                |               | 48  | 38             |      |                |      |     |     |                |                |
| 33                |               | 52  | 42             |      |                |      |     |     |                |                |
| 36                |               | 55  | 48             |      |                |      |     |     |                |                |
| 39                |               | 60  | 48             |      |                |      |     |     |                |                |
| 42                | 65            | 56  | 0,3            | 9,0  | 15             | 11,0 | 1,6 | 1,0 | 2,0            |                |
| 43                | 75            | 64  |                |      |                |      |     |     |                |                |
| 52                | 80            | 64  |                |      |                |      |     |     |                |                |
| 56                | 85            | 72  |                |      |                |      |     |     |                |                |
| 64                | 95            | 80  |                |      |                |      |     |     |                |                |
| 68                | 100           | 80  |                |      |                |      |     |     |                |                |
| 72                | 105           | 90  |                |      |                |      |     |     |                |                |
| 76                | 110           | 90  |                |      |                |      |     |     |                |                |
| 80                | 115           | 100 |                |      |                |      |     |     |                |                |
| 90                | 125           | 110 |                |      |                |      |     |     |                |                |
| 100               | 135           | 120 |                |      |                |      |     |     |                |                |



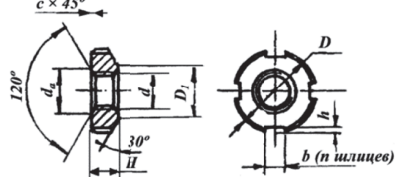
Гайки-барашки по ГОСТ 3032-76



|                         |     |     |      |     |      |
|-------------------------|-----|-----|------|-----|------|
| Диаметр резьбы, d       | 5   | 6   | 8    | 10  | 12   |
| Шаг резьбы, P           | 0,8 | 1,0 | 1,25 | 1,5 | 1,75 |
| D                       | 10  | 12  | 15   | 18  | 22   |
| D <sub>1</sub>          | 8   | 10  | 13   | 15  | 19   |
| L                       | 28  | 32  | 40   | 48  | 55   |
| H                       | 12  | 14  | 18   | 22  | 26   |
| h                       | 5   | 6   | 8    | 10  | 12   |
| b                       | 2,0 | 2,5 | 3,0  | 3,4 | 4,0  |
| b <sub>1</sub>          | 2,5 | 3,0 | 3,4  | 4,0 | 5,0  |
| R                       | 4,5 | 5,0 | 6,0  | 7,0 | 8,5  |
| R <sub>1</sub> не менее | —   | 1,0 |      |     |      |
| R <sub>2</sub> не более | 2,5 | 3,0 | 4,0  | 4,5 | 5,0  |

Примечание. Технические требования – по ГОСТ 3032-76.

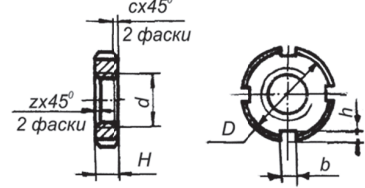
Гайки круглые шлицевые по ГОСТ 11871-88



| Диаметр резьбы, d | Шаг резьбы, P | D     | D <sub>1</sub> | H      | h     | b     | n    | c    | d <sub>a</sub> | T     | T <sub>1</sub> |      |        |       |      |
|-------------------|---------------|-------|----------------|--------|-------|-------|------|------|----------------|-------|----------------|------|--------|-------|------|
| M10               | 1,25          | 24    | 15,5           | 8      | 1,5   | 4     | 4    | 0,6  | 10,80          | 0,02  | 0,16           |      |        |       |      |
| M12               |               | 26    | 17,5           |        |       |       |      |      | 13,00          | 0,025 |                |      |        |       |      |
| M14               |               | 28    | 18,5           |        | 15,10 |       |      |      | 0,03           |       |                |      |        |       |      |
| M16               |               | 30    | 22,0           |        | 17,30 |       |      |      |                | 1,0   |                |      |        |       |      |
| M18               | 32            | 24,0  | 19,40          | 0,04   |       |       |      |      |                |       |                |      |        |       |      |
| M20               | 34            | 26,0  | 21,60          |        | 0,25  |       |      |      |                |       |                |      |        |       |      |
| M22               | 38            | 29,0  | 23,80          |        |       | 0,05  |      |      |                |       |                |      |        |       |      |
| M24               | 42            | 31,0  | 25,90          |        |       |       |      | 0,25 |                |       |                |      |        |       |      |
| M27               | 45            | 35,0  | 29,20          | 0,05   |       |       |      |      |                |       |                |      |        |       |      |
| M30               | 48            | 38,0  | 32,40          |        | 0,06  |       |      |      |                |       |                |      |        |       |      |
| M33               | 52            | 40,0  | 35,60          |        |       | 0,3   |      |      |                |       |                |      |        |       |      |
| M36               | 55            | 42,0  | 38,90          |        |       |       | 0,06 |      |                |       |                |      |        |       |      |
| M39               | 60            | 48,0  | 42,10          | 0,06   |       |       |      |      |                |       |                |      |        |       |      |
| M42               | 65            | 52,0  | 45,40          |        | 0,06  |       |      |      |                |       |                |      |        |       |      |
| M45               | 70            | 55,0  | 48,60          |        |       | 0,06  |      |      |                |       |                |      |        |       |      |
| M48               | 75            | 58,0  | 51,80          |        |       |       | 0,06 |      |                |       |                |      |        |       |      |
| M52               | 80            | 61,0  | 54,00          | 0,06   |       |       |      |      |                |       |                |      |        |       |      |
| M56               | 2,0           | 85    | 65,0           |        | 12    |       |      | 10   | 6              | 1,6   | 58,00          | 0,05 | 0,25   |       |      |
| M60               |               | 90    | 70,0           |        |       | 62,00 |      |      |                |       |                |      |        |       |      |
| M64               |               | 95    | 75,0           |        |       | 66,00 |      |      |                |       |                |      |        |       |      |
| M68               |               | 100   | 80,0           | 70,00  |       |       |      |      |                |       |                |      |        |       |      |
| M72               |               | 105   | 85,0           | 75,00  | 15    | 4,0   | 6    | 1,6  | 75,00          | 0,05  |                |      |        |       |      |
| M76               |               | 110   | 85,0           | 80,00  |       |       |      |      |                |       |                |      |        |       |      |
| M80               |               | 115   | 90,0           | 84,00  |       |       |      |      | 18             |       | 12             | 6    | 1,6    | 80,00 | 0,05 |
| M85               |               | 120   | 98,0           | 89,00  |       |       |      |      |                |       |                |      |        |       |      |
| M90               |               | 125   | 102,0          | 94,00  | 22    | 5,5   | 14   | 8    |                | 94,00 |                |      |        | 0,06  |      |
| M95               |               | 130   | 108,0          | 99,00  |       |       |      |      |                |       |                |      |        |       |      |
| M100              |               | 135   | 115,0          | 104,00 |       |       |      |      | 26             | 26    | 14             | 8    | 104,00 |       | 0,06 |
| M110              |               | 150   | 125,0          | 114,00 |       |       |      |      |                |       |                |      |        |       |      |
| M120              | 160           | 137,0 | 125,00         |        |       |       |      |      |                |       |                |      |        |       |      |
| M130              | 170           | 147,0 | 135,00         |        |       |       |      |      |                |       |                |      |        |       |      |
| M140              | 180           | 157,0 | 145,00         |        |       |       |      |      |                |       |                |      |        |       |      |

Примечания: 1. Материал – Сталь 35 ГОСТ 1050-74, (группа 05). 2. Твердость поверхностей шлицев гаек – не менее 38 HRC. 3. Глубина закаленного слоя – не менее 1 мм.

Гайки круглые шлицевые с трубной резьбой по ГОСТ 6357-81

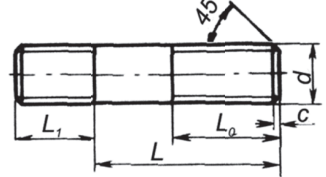


| d       | D     | H  | b | h   | C   | z   |
|---------|-------|----|---|-----|-----|-----|
| G 3/8   | 16,66 | 26 | 4 | 2,0 | 0,6 | 1,6 |
| G 1/2   | 20,96 | 30 | 5 | 2,5 |     | 1,0 |
| G 3/4   | 26,44 | 38 |   |     | 6   |     |
| G 1     | 33,25 | 45 |   |     |     |     |
| G 1 1/4 | 41,91 | 52 |   |     |     |     |
| G 1 1/2 | 47,80 | 60 | 8 | 4,0 | 1,0 | 2,5 |
| G 2     | 59,61 | 75 |   |     |     |     |

Примечания: 1. Материал – Сталь 35 ГОСТ 1050-74. 2. Резьба трубная по ГОСТ 6357-81.

## 7.3. ШПИЛЬКИ

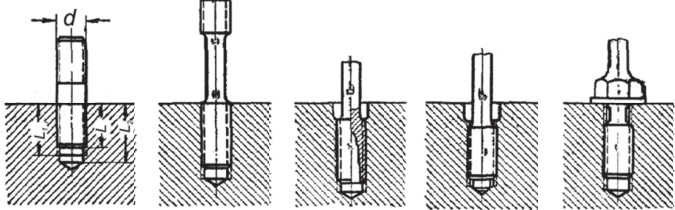
Шпильки по ГОСТ 22038-76



| Диаметр резьбы, d       | 6                          | 8                          | 10                          | 12                            | 16                            | 20                            | 24                            | 30                            | 36                            | 42                            | 48                            |
|-------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Шаг резьбы, P           | 1                          | 1,25                       | 1,5                         | 1,75                          | 2                             | 2,5                           | 3                             | 3,5                           | 4                             | 4,5                           | 5                             |
| L <sub>1</sub> = 2,0·d  | 12                         | 16                         | 20                          | 24                            | 32                            | 40                            | 48                            | 60                            | 72                            | 84                            | 96                            |
| L <sub>1</sub> = 1,25·d | 7,5                        | 10                         | 12                          | 15                            | 20                            | 25                            | 30                            | 38                            | 45                            | 52                            | 60                            |
| L <sub>1</sub> = 1,0·d  | 6                          | 8                          | 10                          | 12                            | 16                            | 20                            | 24                            | 30                            | 36                            | 42                            | 48                            |
| C                       | 1                          | 1                          | 1,5                         | 1,8                           | 2                             | 2,5                           | 3                             | 4                             | 4,5                           | 5                             | 6                             |
| L/L <sub>0</sub>        | 16÷35<br>12<br>40÷60<br>15 | 18÷35<br>16<br>40÷80<br>18 | 25÷35<br>18<br>40÷105<br>20 | 20÷105<br>22<br>110÷180<br>28 | 32÷105<br>28<br>110÷200<br>32 | 40÷105<br>32<br>110÷200<br>38 | 45÷105<br>38<br>110÷200<br>45 | 60÷210<br>50<br>220÷240<br>60 | 70÷210<br>55<br>220÷300<br>65 | 80÷210<br>65<br>220÷300<br>75 | 80÷210<br>70<br>220÷300<br>80 |

Примечания: 1. Размер l в указанных пределах брать из следующего ряда чисел: 12, 14, 16, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150, 160, 170, 180, 190, 200, 220, 240, 260, 280, 300.  
2. L<sub>1</sub> = 2,0·d – алюминий, легкие сплавы; L<sub>1</sub> = 1,25·d – чугун, бронза, сталь, дюралюминий; L<sub>1</sub> = 1,0·d – бронза, сталь, дюралюминий.

Глубина завинчивания шпилек в корпус из разных металлов



| Шпилька                            | Корпус  |             |         |                 |                |
|------------------------------------|---------|-------------|---------|-----------------|----------------|
|                                    | сталь   | дюралюминий | чугун   | силумин (литье) | бронза (литье) |
| Сталь                              | 30–40   | 36–40       | 18–25   | 16–20           | 20–25          |
| σ <sub>в</sub> в Н/мм <sup>2</sup> | l/d     |             |         |                 |                |
| 40–50                              | 0,8–0,8 | 0,8–0,9     | 1,3–1,4 | 1,4–2,0         | 1,2–1,3        |
| 90–110                             | 1,6–2,0 | 1,6–2,0     |         | 2,0–2,5*        |                |

Примечания: L<sub>1</sub> ≈ L + (2÷2,5)S; где S – шаг резьбы; L<sub>2</sub> ≈ L<sub>1</sub> + (4÷4,5)S;  
\* Рекомендуется увеличить диаметр конца шпильки, ввертываемого в корпус.

| Способы посадки шпилек в корпус |                                       |  |
|---------------------------------|---------------------------------------|--|
| Тип шпильки                     | Наименование посадки                  | Область применения   |
| 1                               | Посадка по сбегу резьбы               | Высоконагруженные шпильки при переменных нагрузках; применяются для ответственных резьбовых соединений |
| 2                               | Посадка с помощью натяга по диаметру* |  |
| 3                               | Посадка с помощью бурта               |  |
| 4                               | Посадка с упором в дно отверстия      |  |

*Примечания:*\* При посадке стальной шпильки в стальной корпус для резьбы диаметром  $10 < d < 30$  мм обычно принимают минимальный натяг по среднему диаметру 0,01 – 0,02 мм, максимальный 0,04 – 0,06 мм. При посадке стальной шпильки в алюминиевый или чугунный корпус – соответственно от 0,03 – 0,04 мм до 0,09 – 0,12 мм. Для больших диаметров применяются большие натяги.

## 7.4. СОЕДИНЕНИЯ СТАНДАРТНЫХ РЕЗЬБОВЫХ КРЕПЕЖНЫХ ИЗДЕЛИЙ, мм

### 7.4.1. КОНСТРУКТИВНЫЕ ФОРМЫ

В зависимости от назначения резьбового соединения в машиностроении применяют разнообразны типы крепежных изделий: болты, винты, шпильки, гайки, шайбы, стопорные устройства, предохраняющие от самоотвинчивания, параметры и качественные характеристики которых стандартизованы (рис. 7.5).

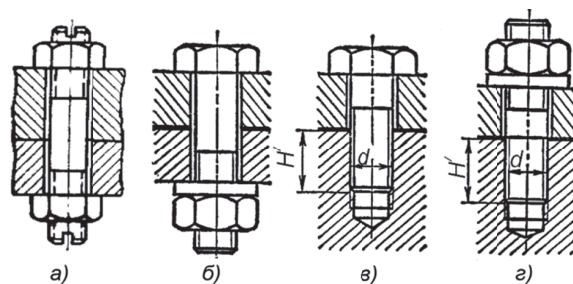


Рис. 7.5. Стандартные крепежные изделия

К специальным болтам (винтам) относятся: фундаментные и анкерные болты (рис. 7.6, а) применяют для соединения станин машин с фундаментом; распорные болты (рис. 7.6, б) для сохранения постоянного расстояния между соединяемыми деталями, работающими с динамическими (ударными) нагрузками, к фундаменту; откидные болты (рис. 7.6, в) для закрепления и освобождения деталей в часто разбираемых соединениях и целый ряд других.

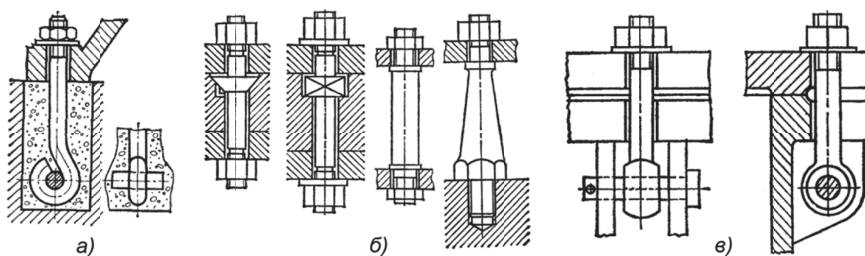


Рис. 7.6. Специальные крепежные изделия

**Болт** – цилиндрический стержень с резьбой и головкой (рис. 7.5, а) (шестигранной, реже четырехгранной, полукруглой и т. д.), соединяемый с гайкой. Соединение болтом применяется в тех случаях, когда конструкция соединяемых деталей допускает сверление сквозных отверстий и позволяет завести при сборке болт в отверстие (табл. 7.21-7.23).

**Винт** (рис. 7.5, б) – это болт, гайкой для которого служит одна из закрепляемых деталей (табл. 7.24 -7.36). Соединение винтом применяется в тех случаях, когда в деталях не допускается сквозное отверстие (например, стенки герметических сосудов), а также когда нецелесообразно или невозможно просверлить сквозное отверстие или вставить в него болт.

**Шпилька** (рис. 7.5, в) – цилиндрический стержень с резьбой на двух концах (табл. 7.53). Шпильки применяют в тех случаях, что и винты, когда это создает удобства для сборочных работ, особенно когда сборка сопровождается с установкой или заменой прокладок и т.п. или когда допустимо сквозное сверление в соединяемых деталях, но конструкция их такова, что болт ввести в отверстие нельзя (рис. 7.5, г).

**Гайка** (рис. 7.5, а и г) – деталь с резьбовым отверстием. Гайка является замыкающим элементом резьбового (болтового) соединения. В зависимости от назначения гайки имеют разнообразную конструктивную форму: шестигранные – нор-

мальные ( $H = 0,8d$ ) с одной или двумя фасками, высокие ( $H$  до  $1,6d$ ) и низкие ( $H$  до  $0,6d$ ). Гайки по конструкции отличаются большим разнообразием в зависимости от назначения (табл. 7.43–7.52).

**Шайба** (рис. 7.5, *a* и *в*) – деталь ставится под гайку или головку винта. Она выполняет предохранительную роль, создавая большую опорную площадку; шайба пружинная или фасонная с фиксатором выполняет роль стопора для предохранения от отвинчивания гайки или винта и др. (табл. 7.37–7.41).

**Болты и винты** в зависимости от назначения и размеров имеют различные конструкции форм головок: шестигранные, четырехгранные, цилиндрические с внутренним или наружным квадратом или шестигранником под ключ, цилиндрические, полукруглые, потайные со шлицем под отвертку плоскую или крестообразную и др. (табл. 7.56).

Таблица 7.56

| Формы головок болтов и винтов с устройствами под ключ и отвертку |   |   |
|--|---|---|
|  |   |   |
| Тип №  | Назначение                                      | Соотношение размеров  |
| 1  | Болты крепежные                                 | $h \approx \begin{cases} 0,7d - \text{обычная} \\ 0,5d - \text{уменьшенная} \end{cases}$ $D \approx \begin{cases} (1,8 \div 2,0) - \text{обычный} \\ (1,5 \div 1,7) - \text{уменьшенный} \end{cases}$ |
| 2  | Винты с полукруглой головкой                    | $h \approx 0,7d; D \approx 1,6 d;$  |
| 3  | Винты с цилиндрической головкой                 | $h \approx 0,6 d; D \approx 1,5 d;$   |
| 4  | Винты с потайной головкой                       | $h \approx 0,5 d; D \approx 1,8 d;$   |
| 5  | Винты с внутренним шестигранником               | $t \approx 0,5 d; t_1 \approx 0,6 d; s \approx 0,8 d;$<br>$D \approx 1,5 d; h \approx 1,0 d;$   |
| 6  |   | $t \approx 0,5 d; t_1 \approx 0,6 d; s \approx 0,5 d$   |
| 7  | Винты с потайной головкой и несквозными шлицами | $h \approx 0,75d; D \approx 2d; h_1 \approx 0,6 d$  |
| 8  |   |   |
| 9  | Винты с квадратной головкой                     | $h \approx 1,1d; h_1 \approx 0,8d; D \approx 1,4d;$   |
| 10   |   | $h \approx 0,6d; D \approx 0,7d;$   |

*Болты* применяют в тех случаях, когда резьбовые соединения преодолевают большие нагрузки.

Например, болтом (рис. 7.7, *a*) крепят крышку, которая испытывает давление среды  $P$ , которое стремится растянуть болт и разгерметизировать соединение; болтовое соединение (рис. 7.7, *б*) работает под действием силы  $P$  на срез и смятие; болтовое соединение (рис. 7.7, *в*) работает под действием силы  $P$  на сдвиг и изгиб.

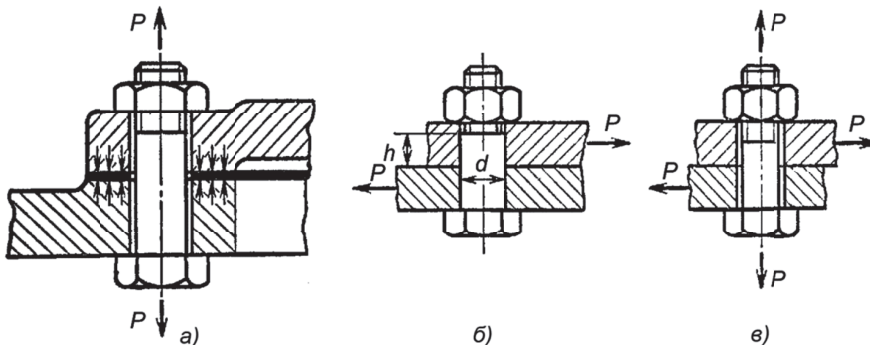


Рис. 7.7. Схемы работы болтовых соединений

*Винты* по назначению разделяют на крепежные и установочные (табл. 7.24 – 7.36).

Крепежные винты (рис. 7.8, *a – в*) применяют, когда требуется соединить детали, например смотровую крышку к редуктору, направляющую шпонку к валу и т. д. Крепежные винты с потайной головкой часто используют вместо болтов, если выступающие головки обычных болтов мешают работе механизма. Их изготавливают с головкой под ключ и шлицем (шириной –  $h$  и высотой –  $t$ ) под отвертку.

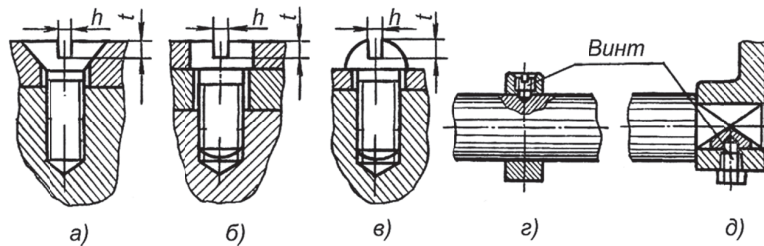


Рис. 7.8. Винты:

а – с потайной головкой; б – с цилиндрической головкой; в – с полукруглой головкой; г, д – стопорные (установочные) винты

Установочные винты (рис. 7.8, г, д) отличаются от крепежных длиной резьбы, которая имеется на всем стержне, и концом стержня, который может быть выполнен коническим, цилиндрическим или сферическим. При монтаже конец стержня входит в соответствующее углубление сопрягаемой детали. Установочные винты применяют для фиксации одной детали относительно другой. Такими винтами фиксируют детали, устанавливаемые на оси или валы, например установочные кольца, дистанционные втулки, рычаги, рукоятки и т.д.

Концы болтов, винтов и шпилек имеют форму окончания в зависимости от их функционального назначения (табл. 7.57 и 7.58).

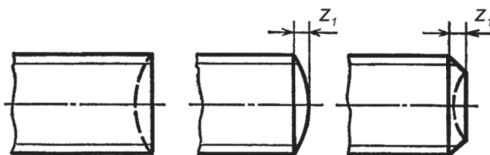
Таблица 7.57

Концы болтов, винтов и шпилек по ГОСТ 12414-66

| d   | d <sub>2</sub> (h14) | d <sub>3 max</sub> | d <sub>4 max</sub> | d <sub>3</sub> (h14) | R   | z <sub>2</sub> ( + IT14) | z <sub>3</sub> ( + IT14) | z <sub>4</sub> |
|-----|----------------------|--------------------|--------------------|----------------------|-----|--------------------------|--------------------------|----------------|
| 1,0 | 0,5                  | –                  | –                  | –                    | 0,1 | 0,2                      | –                        | 0,1            |
| 1,2 | 0,6                  | –                  | –                  | –                    | 0,1 | 0,3                      | –                        | 0,2            |
| 1,4 | 0,7                  | –                  | –                  | 0,7                  | 0,1 | 0,3                      | –                        | 0,2            |
| 1,6 | 0,8                  | –                  | –                  | 0,8                  | 0,1 | 0,4                      | –                        | 0,2            |
| 2,0 | 1                    | 0,2                | –                  | 1                    | 0,1 | 0,5                      | 1                        | 0,3            |
| 2,5 | 1,5                  | 0,3                | –                  | 1,2                  | 0,2 | 0,6                      | 1,2                      | 0,4            |
| 3,0 | 2                    | 0,4                | –                  | 1,4                  | 0,3 | 0,7                      | 1,5                      | 0,4            |
| 3,5 | 2,2                  | 0,4                | –                  | 1,7                  | 0,3 | 0,9                      | 1,7                      | 0,4            |
| 4,0 | 2,5                  | 0,5                | –                  | 2                    | 0,3 | 1                        | 2                        | 0,5            |
| 5,0 | 3,5                  | 0,5                | –                  | 2,5                  | 0,3 | 1,2                      | 2,5                      | 0,6            |
| 6,0 | 4                    | 0,5                | 1,5                | 3                    | 0,4 | 1,5                      | 3                        | 0,7            |
| 7,0 | 5                    | 0,5                | 2                  | 4                    | 0,4 | 1,7                      | 3,5                      | 0,8            |
| 8,0 | 5,5                  | 0,5                | 2                  | 5                    | 0,4 | 2                        | 4                        | 1              |
| 10  | 7                    | 1                  | 2,5                | 6                    | 0,5 | 2,5                      | 5                        | 1              |
| 12  | 8,5                  | 1                  | 3                  | 8                    | 0,6 | 3                        | 6                        | 1,2            |
| 14  | 10                   | 2                  | 4                  | 9                    | 0,8 | 3,5                      | 7                        | 1,5            |
| 16  | 12                   | 3                  | 4                  | 10                   | 0,8 | 4                        | 8                        | 1,7            |
| 18  | 13                   | 4                  | 5                  | 12                   | 0,8 | 4,5                      | 9                        | 2              |
| 20  | 15                   | 5                  | 5                  | 14                   | 1   | 5                        | 10                       | 2              |
| 22  | 17                   | 5                  | 6                  | 16                   | 1   | 5,5                      | 11                       | 2,5            |
| 24  | 18                   | 6                  | 6                  | 16                   | 1   | 6                        | 12                       | 2,5            |
| 27  | 21                   | 7                  | –                  | –                    | 1,2 | 6,7                      | 13,5                     | –              |
| 30  | 23                   | 7                  | –                  | –                    | 1,2 | 7,5                      | 15                       | –              |
| 33  | 26                   | 8                  | –                  | –                    | 1,6 | 8,2                      | 16,5                     | –              |
| 36  | 28                   | 8                  | –                  | –                    | 1,6 | 9                        | 18                       | –              |
| 39  | 30                   | 8                  | –                  | –                    | –   | 9,7                      | 19,5                     | –              |
| 42  | 32                   | 8                  | –                  | –                    | –   | 10,5                     | 21                       | –              |
| 45  | 35                   | 11                 | –                  | –                    | –   | 11,2                     | 22,5                     | –              |



Концы болтов, винтов и шпилек по ГОСТ 12414-66



| Шаг резьбы, Р | Ширина фаски (сферы) $z_1$ max | Шаг резьбы, Р | Ширина фаски (сферы) $z_1$ max | Шаг резьбы, Р | Ширина фаски (сферы) $z_1$ max |
|---------------|--------------------------------|---------------|--------------------------------|---------------|--------------------------------|
| 0,25          | 0,5                            | 0,8           | 1,6                            | 3             | 6                              |
| 0,3           | 0,6                            | 1             | 2,0                            | 3,5           | 7                              |
| 0,35          | 0,7                            | 1,25          | 2,5                            | 4             | 8                              |
| 0,4           | 0,8                            | 1,5           | 3                              | 4,5           | 9                              |
| 0,45          | 0,9                            | 1,75          | 3,5                            | 5             | 10                             |
| 0,5           | 1,0                            | 2             | 4                              | 5,5           | 11                             |
| 0,6           | 1,2                            | 2,5           | 5                              | 6             | 12                             |
| 0,7           | 1,4                            | —             | —                              | —             | —                              |

**Шпильки** применяют в соединениях с частыми разборками, а резьба в деталях не обладает достаточной стойкостью (резьба в чугуне и легких сплавах). Применяется чаще всего для крепления крышек к чугунным корпусам, но это крепление менее надежно, чем болтовое. Соединение шпилькой лучше винтового, но слабее болтового (табл. 7.53 – 7.55).

**Гайки** в зависимости от назначения различают по конструкции на шестигранные, квадратные, корончатые, круглые и т.д. (рис. 7.9) (табл. 7.43 – 7.52).

Круглые гайки (рис. 7.9, з) имеют прорези на боковой поверхности для захвата их специальными ключами. Этими гайками крепят на валах кольца подшипников качения и другие детали, регулируют продольные зазоры между деталями и т.д. Разновидностью шестигранных гаек являются корончатые гайки, имеющие прорези для шплинтов.

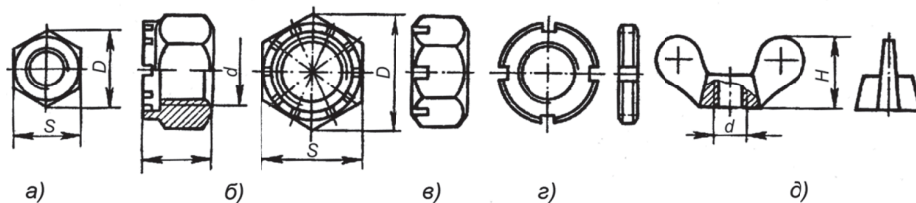


Рис. 7.9. Гайки:

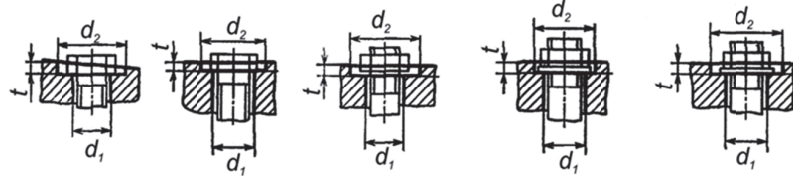
а – шестигранная; б – корончатая; в – шестигранная с прорезями; г – круглая; д – гайка-барашек

**Шайбы** часто подкладывают под болты, винты и гайки при сборке резьбовых соединений. Шайбы ставят также и тогда, когда нужно увеличить опорную поверхность под гайкой, защитить поверхность детали от задиранья гранями гайки или устранить неровности наружной поверхности детали и перекос гайки (табл. 7.37 – 7.41).

**Опорные поверхности** мест крепления под головки болтов, винтов и гаек должны быть выполнены перпендикулярно к оси крепежной детали. Конструктивные размеры опорных поверхностей мест крепления под головки болтов, винтов и гаек приведены в табл. (7.59 – 7.61).

Таблица 7.59

Конструктивные размеры опорных поверхностей мест крепления под головки болтов и гаек, (мм) по ГОСТ 12876-67



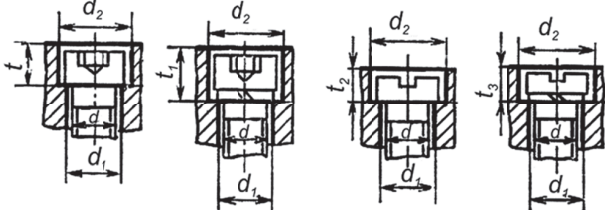
| d   | d <sub>1</sub> | d <sub>2</sub> |     |      |           | d  | d <sub>1</sub> | d <sub>2</sub> |     |      |           |
|-----|----------------|----------------|-----|------|-----------|----|----------------|----------------|-----|------|-----------|
|     |                | А*             | Б** | В*** | под шайбы |    |                | А*             | Б** | В*** | под шайбы |
| 1,6 | 1,8            | 5              | —   | —    | 5         | 18 | 20             | 36             | 32  | 32   | 36        |
| 2   | 2              | 6              | —   | —    | 6         | 20 | 22             | 40             | 36  | 36   | 40        |
| 2,5 | 3,1            | 7,5            | —   | —    | 7,5       | 22 | 24             | 42             | 40  | 40   | 42        |
| 3   | 3,6            | 8              | —   | —    | 8         | 24 | 26             | 48             | 42  | 42   | 48        |
| 4   | 4,8            | 10             | —   | —    | 10        | 27 | 30             | 52             | 45  | 48   | 52        |
| 5   | 5,8            | 11             | —   | —    | 11        | 30 | 33             | 61             | 52  | 55   | 61        |
| 6   | 7              | 13,5           | —   | —    | 13,5      | 33 | 36             | 67             | 60  | 60   | 67        |
| 8   | 9              | 18             | 18  | 18   | 18        | 36 | 39             | 71             | 65  | 65   | 71        |
| 10  | 11             | 22             | 20  | 20   | 22        | 39 | 42             | 75             | 71  | 71   | 75        |

|    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 12 | 14 | 26 | 26 | 24 | 26 | 42 | 45 | 80 | 75 | 75 | 80 |
| 14 | 16 | 30 | 26 | 26 | 30 | 45 | 48 | 90 | 80 | 85 | 90 |
| 16 | 18 | 33 | 30 | 30 | 33 | 48 | 52 | 95 | 85 | 90 | 95 |

Примечания: Размер t устанавливает конструктор; d – номинальный диаметр резьбы;  
d<sub>1</sub> – диаметр сквозного отверстия по Н13; d<sub>2</sub> – диаметр опорной поверхности по Н15.  
А\* – под болты с шестигранной головкой и под гайки шестигранные.  
В\*\* – под болты с шестигранным уменьшенным размером S и под гайки шестигранные с уменьшенным размером S.  
В\*\*\* – под уменьшенные шайбы.

Таблица 7.60

Конструктивные размеры углубленных опорных поверхностей мест крепления под винты с цилиндрической головкой, (мм) по ГОСТ 12876-67

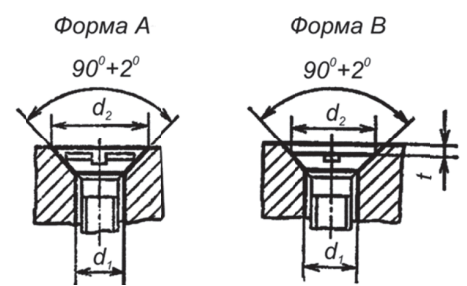


| d   | d <sub>1</sub> | d <sub>2</sub> | t   | t <sub>1</sub> | t <sub>2</sub> | t <sub>3</sub> | d  | d <sub>1</sub> | d <sub>2</sub> | t    | t <sub>1</sub> | t <sub>2</sub> | t <sub>3</sub> |
|-----|----------------|----------------|-----|----------------|----------------|----------------|----|----------------|----------------|------|----------------|----------------|----------------|
| 1   | 1,3            | 2,2            | –   | –              | 0,8            | –              | 14 | 16             | 24             | 15   | 18             | 9              | 12             |
| 1,2 | 1,5            | 2,5            | –   | –              | 0,9            | –              | 16 | 18             | 26             | 17,5 | 21             | 10,5           | 13             |
| 1,4 | 1,7            | 2,8            | –   | –              | 1,0            | –              | 18 | 20             | 30             | 19,5 | 23             | 11,5           | 15             |
| 1,6 | 2              | 3,3            | –   | –              | 1,2            | –              | 20 | 22             | 34             | 21,5 | 26             | 12,5           | 16             |
| 2   | 2,6            | 4,3            | –   | –              | 1,6            | 2              | 22 | 24             | 36             | 23,5 | 28             | –              | –              |
| 2,5 | 3,1            | 5              | –   | –              | 2              | 2,5            | 24 | 26             | 40             | 25,5 | 31             | –              | –              |
| 3   | 3,6            | 6              | 3,4 | 4              | 2,4            | 3              | 27 | 30             | 45             | 28,5 | 35             | –              | –              |
| 3,5 | 4,1            | 6,5            | –   | –              | 2,8            | –              | 30 | 33             | 48             | 32   | 38             | –              | –              |
| 4   | 4,8            | 8              | 4,6 | 5,5            | 3,2            | 4              | 33 | 36             | 53             | 35   | 41             | –              | –              |
| 5   | 5,8            | 10             | 5,7 | 7              | 4              | 5              | 36 | 39             | 57             | 38   | 45             | –              | –              |
| 6   | 7              | 11             | 6,8 | 8              | 4,7            | 6              | 39 | 42             | 60             | 42   | 49             | –              | –              |
| 8   | 9              | 15             | 8   | 11             | 6              | 7,5            | 42 | 45             | 65             | 44   | 53             | –              | –              |
| 10  | 11             | 18             | 11  | 13             | 7              | 9              | 45 | 48             | 71             | 47   | 55             | –              | –              |
| 12  | 14             | 20             | 13  | 16             | 8              | 11             | 48 | 52             | 75             | 50   | 60             | –              | –              |

Примечание. d – номинальный диаметр резьбы.

Таблица 7.61

Конструктивные размеры углубленных опорных поверхностей под винты с потайной головкой, (мм) по ГОСТ 12876-67



| d   | А                     |                       | В                     |                       | t   | d  | А                     |                       | В                     |                       | t   |
|-----|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----|----|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----|
|     | d <sub>1</sub> по Н13 | d <sub>2</sub> по Н13 | d <sub>1</sub> по Н12 | d <sub>2</sub> по Н12 |     |    | d <sub>1</sub> по Н13 | d <sub>2</sub> по Н13 | d <sub>1</sub> по Н12 | d <sub>2</sub> по Н12 |     |
| 1   | 1,3                   | 2,4                   | 1,1                   | 2                     | 0,2 | 5  | 5,8                   | 10,4                  | 5,3                   | 10                    | 0,3 |
| 1,2 | 1,5                   | 2,8                   | 1,3                   | 2,5                   | 0,2 | 6  | 7                     | 12,4                  | 6,4                   | 11,5                  | 0,4 |
| 1,4 | 1,7                   | 3,2                   | 1,6                   | 2,8                   | 0,2 | 8  | 9                     | 16,4                  | 8,4                   | 15                    | 0,8 |
| 1,6 | 2                     | 3,7                   | 1,7                   | 3,3                   | 0,2 | 10 | 11                    | 20,4                  | 10,5                  | 19                    | 1   |
| 2   | 2,6                   | 4,6                   | 2,2                   | 4,3                   | 0,2 | 12 | 14                    | 24,4                  | 13                    | 22,5                  | 1   |
| 2,5 | 3,1                   | 5,7                   | 2,7                   | 5                     | 0,3 | 14 | 16                    | 28,4                  | 15                    | 26                    | 1   |
| 3   | 3,6                   | 6,6                   | 3,2                   | 6                     | 0,3 | 16 | 18                    | 32,4                  | 17                    | 30                    | 1,2 |
| 3,5 | 4,1                   | 7,6                   | 3,8                   | 7                     | 0,3 | 18 | 20                    | 36,4                  | 19                    | 34                    | 1,2 |
| 4   | 4,8                   | 8,6                   | 4,3                   | 8                     | 0,3 | 20 | 22                    | 40,4                  | 21                    | 37                    | 1,5 |

Примечание. d – номинальный диаметр резьбы.

Конструктивные размеры опорных поверхностей вокруг головки болта, винта или гайки должно быть достаточным для применения инструмента, которым будет удобно произвести затяжку соединения.

Размеры ключей, необходимые для заворачивания болтов, гаек и деталей с размером поверхностей под ключ, приведены в табл. 7.62, 7.63 и 7.64.

Таблица 7.62

Размеры под гаечный ключ, (мм)

| Номинальные размеры под ключ $S, S_1, S_2, S_3$ | Отклонения размеров ключа |                 |                    | Отклонения размеров под ключ |                     |                 |                    |
|---|---------------------------|-----------------|--------------------|------------------------------|---------------------|-----------------|--------------------|
|   | охватывающих $S$          |                 | охватываемых $S_1$ | охватываемых $S_2$           |                     |                 | охватываемых $S_3$ |
|   | нормальной точности       | грубой точности |                    | повышенной точности          | нормальной точности | грубой точности |                    |
|   | 2,5*; 3,0*                | –               | –                  | –0,040                       | –                   | –               | –                  |
| 3,2   | +0,08 +0,02               | –               | –0,048             | –0,16                        | –                   | –               | +0,12 +0,04        |
| 4,0; 5,0; 5,5                                   | +0,12 +0,02               |                 |                    |                              |                     |                 |                    |
| 6,0*  | +0,15 +0,03               |                 |                    |                              |                     |                 |                    |
| 7,0   |                           |                 |                    |                              |                     |                 |                    |
| 8,0 (9,0)                                       | +0,19 +0,04               | +0,18 +0,03     | –0,058             | –0,20                        | –0,36               | –               | +0,15 +0,05        |
| 10,0 (11,0)                                     | +0,19 +0,04               | +0,24 +0,04     | –0,120             | –0,24                        | –0,43               | –               | +0,18<br>+0,06     |
| 12; 13  | +0,4 +0,04                | +0,30 +0,04     |                    |                              |                     |                 |                    |
| 14 (15)   | +0,27 +0,05               | +0,35 +0,05     |                    |                              |                     |                 |                    |
| 17  | +0,30 +0,05               | +0,40 +0,05     |                    |                              |                     |                 |                    |
| 19; 22; 24                                      | +0,36 +0,06               | +0,46 +0,06     | –0,140             | –0,28                        | –0,52               | –               | +0,21 +0,07        |
| 27; 30  | +0,48 +0,08               | +0,58 +0,08     | –0,140             | –0,34                        | –1,00               | –0,84           | +0,25 +0,05        |
| 33  |                           |                 |                    |                              |                     | –1,0            |                    |
| 36,0; 41,0 46,0                                 | +0,60 +0,10               | +0,70 +0,10     | –0,140             | –0,34                        | –1,00               | –1,0            | +0,25 +0,05        |

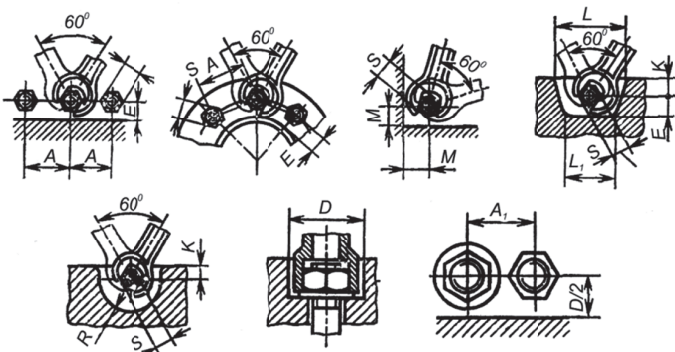
*Примечание.* \* Допускается применять только для изделий с углублением под ключ и для ключей под это углубление. ГОСТ 6424 – 73 предусматривает также номинальные размеры 50 ÷ 225 мм.

Таблица 7.63

Размеры лысок, квадратов и шестигранников под ключ

| Ключ $S$ | $d_{min}$ | $l_1$ | $l_2$ | $l_3$ | Ключ $S$ | $d_{min}$ | $l_1$ | $l_2$ | $l_3$ | Ключ $S$ | $d_{min}$ | $l_1$ | $l_2$ | $l_3$ |
|----------|-----------|-------|-------|-------|----------|-----------|-------|-------|-------|----------|-----------|-------|-------|-------|
| 6        | 7         | 8,5   | 8     | 6,9   | 30       | 36        | 42,4  | 40    | 34,5  | 80       | 92        | 113   | 105   | 92,4  |
| 7        | 8         | 9,9   | 9     | 8,1   | 32       | 38        | 45,3  | 42    | 36,9  | 85       | 98        | 120   | 112   | 98    |
| 8        | 9         | 11,3  | 10    | 9,2   | 36       | 42        | 50,9  | 48    | 41,6  | 90       | 104       | 127   | 118   | 104   |
| 9        | 10        | 12,7  | 12    | 10,4  | 41       | 48        | 58,0  | 54    | 47,3  | 95       | 110       | 134   | 125   | 110   |
| 10       | 12        | 14,1  | 13    | 11,5  | 46       | 52        | 65,1  | 60    | 53,1  | 100      | 116       | 141   | 132   | 116   |
| 11       | 13        | 15,6  | 14    | 12,7  | 50       | 58        | 70,7  | 65    | 57,7  | 105      | 122       | 148   | 138   | 121   |
| 12       | 14        | 17,0  | 16    | 13,8  | 55       | 65        | 77,6  | 72    | 63,5  | 110      | 128       | 155   | 145   | 127   |
| 14       | 16        | 19,8  | 18    | 16,2  | 60       | 70        | 84,8  | 80    | 69,3  | 115      | 134       | 162   | 152   | 133   |
| 17       | 19        | 24,0  | 22    | 19,6  | 65       | 75        | 91,9  | 85    | 75,0  | 120      | 140       | 170   | 160   | 139   |
| 19       | 22        | 26,9  | 25    | 21,9  | 70       | 82        | 99,0  | 92    | 80,8  | 125      | 145       | 177   | 165   | 145   |
| 22       | 25        | 31,1  | 28    | 25,4  | 75       | 88        | 106   | 98    | 86,5  | 130      | 150       | 184   | 170   | 150   |
| 27       | 32        | 38,2  | 36    | 31,2  |          |           |       |       |       |          |           |       |       |       |

Конструктивные размеры мест деталей под гаечный ключ по ГОСТ 6424-73



| S   | A  | E=K | M  | L  | L <sub>1</sub> | R  | D  | A <sub>1</sub> | S  | A   | E=K | M  | L   | L <sub>1</sub> | R   | D  | A <sub>1</sub> |
|-----|----|-----|----|----|----------------|----|----|----------------|----|-----|-----|----|-----|----------------|-----|----|----------------|
| 5,5 | 12 | 5   | 7  | 20 | 16             | 10 | —  | —              | 30 | 58  | 20  | 30 | 98  | 75             | 48  | 48 | 45             |
| 7   | 14 | 6   | 8  | 26 | 20             | 13 | —  | —              | 32 | 62  | 22  | 32 | 100 | 80             | 50  | 52 | 48             |
| 8   | 17 | 7   | 9  | 30 | 24             | 15 | 20 | 16             | 36 | 68  | 24  | 36 | 110 | 85             | 55  | 60 | 52             |
| 10  | 20 | 8   | 11 | 36 | 28             | 18 | 22 | 18             | 41 | 80  | 26  | 40 | 120 | 90             | 60  | 62 | 60             |
| 12  | 24 | 10  | 13 | 45 | 34             | 22 | 26 | 20             | 46 | 90  | 30  | 45 | 140 | 105            | 68  | 70 | 65             |
| 13  | 26 | 10  | 14 | 45 | 34             | 23 | —  | —              | 50 | 95  | 32  | 48 | 150 | 110            | 72  | 75 | 70             |
| 14  | 28 | 11  | 15 | 48 | 36             | 24 | 26 | 22             | 55 | 105 | 36  | 52 | 160 | 120            | 80  | 85 | 78             |
| 17  | 34 | 13  | 17 | 52 | 38             | 26 | 30 | 26             | 60 | 110 | 38  | 55 | 170 | 130            | 85  | —  | —              |
| 19  | 36 | 14  | 19 | 60 | 45             | 30 | 32 | 30             | 65 | 120 | 42  | 60 | 185 | 145            | 92  | —  | —              |
| 22  | 42 | 15  | 24 | 72 | 55             | 36 | 36 | 32             | 70 | 130 | 45  | 65 | 200 | 160            | 98  | —  | —              |
| 24  | 48 | 16  | 25 | 78 | 60             | 38 | 40 | 36             | 75 | 140 | 48  | 70 | 210 | 170            | 105 | —  | —              |
| 27  | 52 | 19  | 28 | 85 | 65             | 42 | 45 | 40             |    |     |     |    |     |                |     |    |                |

7.4.2. СТОПОРНЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ РЕЗЬБОВЫХ КРЕПЕЖНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

В процессе работы прочность соединения деталей, закрепленных резьбовым соединением, не должна расслабляться, т.е. резьбовые соединения не должны самоотвинчиваться под действием вибраций, возникающих при движении, толчках и ударах деталей машин во время работы. Поэтому ответственные резьбовые соединения после затяжки стопорят.

Стопорение резьбовых соединений производят разными способами. Их выбор зависит от доступа к местам крепления, от условий работы соединения, от конструкции соединения и др. Для предохранения резьбовых элементов от самоотвинчивания различают следующие способы:

- контргайкой (рис. 7.10, а), которая препятствует самоотвинчиванию силой трения в резьбе и на торцовых поверхностях двух гаек. Этот способ позволяет легко регулировать силу затяжки резьбового соединения, фиксируя положение нижней гайки путем поворота верхней гайки после касания на соответствующий угол затяжки;
- пружинными шайбами (рис. 7.10, б), которые обеспечивают напряженное состояние резьбового соединения. Пружинная шайба имеет высокую твердость, концы разреза разведены и заострены. Это позволяет произвести затяжку соединения и расплющить шайбу. При отвертывании под действием пружинных сил шайба заостренными концами внедряется в металл гайки или головки болта и в металл закрепляемой детали и тем самым удерживает болт или гайку от отвинчивания;
- стопорение разводными шплинтами (рис. 7.10, в) – один из распространенных и наиболее надежных способов. Разводные шплинты изготовляют с кольцевой головкой из стальной проволоки полукруглого сечения. Концы шплинта вставляют в отверстие, соединяющее болт с гайкой, и разводят;

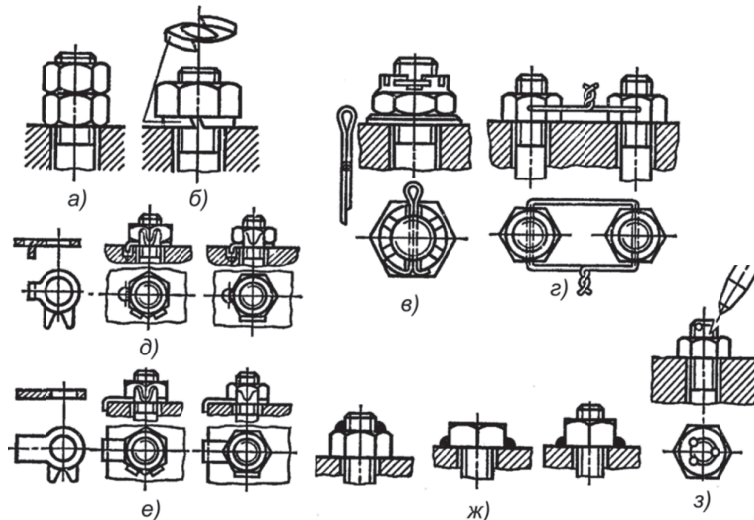


Рис. 7.10. Способы предохранения резьбовых элементов от самоотвинчивания

– мягкой проволокой (рис. 7.10, з), которую применяют для нескольких и целых групп болтов. При этом головки болтов должны быть соединены проволокой так, чтобы ослабление затяжки одного из них вызывало натяжение проволоки и этим способствовало затяжке остальных;

– жестким соединением резьбовых деталей, которое осуществляют применением деформируемых стопорных шайб с носком (рис. 7.10, д). Деформируемая шайба формы имеет выступы. Один из них, вставляется в отверстие детали или обжимается по краю детали, а другие отгибают и прижимают к грани завернутого болта или гайки, чем фиксируют их от отвинчивания;

– шайбы специального назначения применяют как стопорные детали, предотвращающие отогнутыми концами самоотвинчивание гаек и болтов. Примеры таких шайб приведены на рис. 7.10, е; путем сварки головки винта, болта, гайки или шпильки (рис. 7.10, ж); посредством кернения резьбовых деталей с торца и бокового (рис. 7.10, з), расклепывания стержня резьбовой детали, закрашиванием лаком выхода резьбы из гайки и др.

## 7.5. РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ СОЕДИНЕНИЙ РЕЗЬБОВЫХ КРЕПЕЖНЫХ ДЕТАЛЕЙ

### 7.5.1. СИЛЫ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ В РЕЗЬБОВЫХ КРЕПЕЖНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ

Для рассмотрения сил, действующих в крепежных резьбовых соединениях, представим себе винт с прямоугольной резьбой, нагруженный осевой силой  $Q$  (рис. 7.11, б).

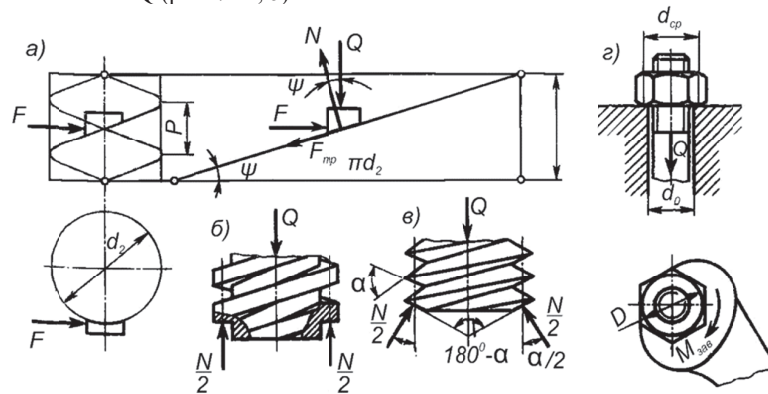


Рис. 7.11. Схема действия сил в резьбовом соединении

Если часть поверхности детали с резьбой, равную шагу винтовой линии, развернуть на плоскость, то получим наклонную плоскость с углом наклона, равным углу  $\psi$  подъема резьбы (рис. 7.11, а).

$$\operatorname{tg} \psi = P/\pi d,$$

где  $d$  – диаметр детали с винтовой линией.

Гайку заменим ползуном, к которому приложены все действующие в резьбе силы:  $Q$  – осевая сила;  $N$  – нормальная реакция;  $F_{\text{тр}}$  – сила трения.

$$F_{\text{тр}} = fN, \quad (1)$$

где  $f = \operatorname{tg} \varphi$ ;  $\varphi$  – угол трения;  $F$  – горизонтальная движущая сила.

Подъему ползуна вверх по наклонной плоскости будет соответствовать навинчивание гайки на винт. Как известно из теоретической механики, для подъема ползуна вверх по шероховатой наклонной плоскости нужно приложить горизонтальную силу

$$F = Q/\operatorname{tg}(\psi + \varphi), \quad (2)$$

где  $\varphi$  – угол трения.

КПД шероховатой наклонной плоскости

$$\eta = \operatorname{tg} \psi / \operatorname{tg}(\psi + \varphi).$$

Из зависимости (2) следует, что с увеличением угла подъема  $\psi$  КПД увеличивается, следовательно, КПД многозаходной резьбы выше, чем однозаходной; с увеличением угла трения  $\varphi$  КПД уменьшается, так как увеличиваются потери на преодоление трения.

Сила  $F$  является для резьбы окружной, приложенной на среднем диаметре  $d_2$ , следовательно, момент сил в резьбе

$$M_p = 0,5d_2F = 0,5d_2Q/\operatorname{tg}(\psi + \varphi).$$

Для сравнения сил трения прямоугольной и треугольной резьбы рассмотрим соответствующие винты, нагруженные осевой силой  $Q$  (рис. 7.11, б, в). Пренебрегая углом подъема резьбы и спроецировав действующие силы на ось винта, получим:

для прямоугольной резьбы

$$N = Q, \quad F_{\text{тр}} = Nf = Qf,$$

где  $f$  – коэффициент трения скольжения;

для треугольной резьбы

$$N = Q/\cos \frac{\alpha}{2}, \quad F_{\text{тр}} = Nf = Qf/\cos \frac{\alpha}{2} = Qf^*,$$

где  $f^* = f/\cos \frac{\alpha}{2} = \operatorname{tg} \varphi^*$  – приведенный коэффициент трения скольжения, а  $\varphi^*$  – приведенный угол трения.



Так как  $f^* > f$ , то трение в треугольной резьбе больше, чем в прямоугольной, а КПД меньше, поэтому крепежные резьбы имеют треугольный профиль, а ходовые – прямоугольный или близкий к нему.

Для треугольной резьбы окружная сила  $F = Q \operatorname{tg}(\psi + \varphi')$ , а момент сил в резьбе

$$M_p = 0,5d_2 Q \operatorname{tg}(\psi + \varphi').$$

При отвинчивании гайки направление сил трения изменится на противоположное и окружная сила  $F_{\text{отв}} = Q \operatorname{tg}(\psi - \varphi')$ . Чтобы не было самоотвинчивания резьбы, должно быть  $F_{\text{отв}} < 0$  или  $\psi < \varphi'$ .

Для стандартной крепежной резьбы угол подъема резьбы  $\psi \leq 4^\circ$ , а приведенный угол трения  $\varphi'$  в зависимости от материала гайки и винта  $\varphi' = 6 \div 16^\circ$ , следовательно, все крепежные резьбы – самотормозящие и при статической нагрузке не самоотвинчиваются.

Мелкие крепежные резьбы (по сравнению с крупными) имеют меньший угол подъема резьбы и поэтому они менее склонны к самоотвинчиванию при динамических нагрузках.

Для затяжки крепежного резьбового соединения осевой силой  $Q$  (рис. 7.11, з) необходимо создать момент завинчивания  $M_{\text{зав}}$ , равный сумме момента сил в резьбе  $M_p$  и момента сил трения  $M_{\text{от}}$  на опорной поверхности гайки. Так как  $M_p = 0,5d_2 Q \operatorname{tg}(\psi + \varphi')$ , а  $M_{\text{от}} = Qfd_{\text{cp}}/2$  (предполагается, что равнодействующая сил трения приложена на среднем диаметре опорной поверхности), то

$$M_{\text{зав}} = 0,5d_2 Q \operatorname{tg}(\psi + \varphi') + Qfd_{\text{cp}}/2,$$

где  $d_{\text{cp}} = 0,5(D + d_0)$ ;  $D$  – наружный диаметр опорной поверхности гайки;  $d_0$  – диаметр отверстия под болт.

Для крепежной резьбы средние значения  $\psi \approx 2^\circ 30'$ ;  $d_2 \approx 0,9d$ ;  $d_{\text{cp}} \approx 1,4d$ , где  $d$  – номинальный диаметр резьбы; тогда при  $f = 0,15$

$$M_{\text{зав}} \approx 0,2 Qd.$$

Длина стандартных ключей  $L \approx 15d$ . Приложив к концу ключа силу  $R$ , можно определить отношение  $Q/R$ , т. е. выгнать в силе за счет резьбы. Так как  $M_{\text{зав}} = RL$ , то

$$0,2Qd = 15Rd, \text{ откуда } Q/R \approx 75.$$

**Коэффициент полезного действия винтовой пары и условия самоторможения.** Коэффициент полезного действия винта определяется отношением работы сил полезного сопротивления  $A_{\text{пол}}$  к работе движущих сил  $A_{\text{дв}}$ .

Например  $\eta = A_{\text{пол}}/A_{\text{дв}} = Ph/(Tl) = Pl \operatorname{tg} \beta / (Tl) = P \operatorname{tg} \beta / T$ , где  $h$  – высота подъема груза  $P$ ;  $l$  – путь, проходимый силой  $H$ .

Подставляя значение  $T$ , полученное при определении силового отношения  $T$  и  $P$ , получим окончательный вид формулы КПД:

для винта с прямоугольной резьбой  $\eta = \operatorname{tg} \beta / \operatorname{tg}(\beta + \rho)$ ;

для винта с остроугольной резьбой  $\eta' = \operatorname{tg} \beta' / \operatorname{tg}(\beta' + \rho')$ .

Отсюда видно, что КПД прямоугольной резьбы больше остроугольной ( $\eta > \eta'$ ).

Винт будет самотормозящим только в том случае, если угол подъема винтовой линии  $\beta$  будет меньше или равен углу трения  $\rho$  ( $\beta \leq \rho \leq 6^\circ$ ) или когда КПД  $\eta \leq 50\%$ .

Для крепежной резьбы величина угла подъема резьбы  $\beta \approx 1,5 \div 4^\circ$ , а угол трения  $\rho'$  изменяется в зависимости от величины коэффициента трения в пределах

$$\rho' = 6^\circ \div 16^\circ \text{ при } f^* = 0,1 \div 0,3.$$

## 7.5.2. ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ РЕЗЬБОВЫХ КРЕПЕЖНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Основными материалами для изготовления винтов, болтов, шпилек и гаек общего назначения являются стали марок Сткп, Ст5, Сталь 10, 10кп, 15, 15кп, 20, 20кп, 30, 35, 45, 40Г, 35Х, 40Х, 38ХА, 30ХГСА, 16ХСН, 35ХГСА, 40ХНМА. Углеродистую сталь обыкновенного качества применяют для неответственных или малоответственных крепежных резьбовых деталей без термообработки. Сталь углеродистую качественную широко применяют для ответственных крепежных резьбовых деталей; это вызвано необходимостью применения общей или местной термической обработки крепежных деталей. Легированные стали применяют для особоответственных крепежных резьбовых деталей, в частности для скрепления быстровращающихся частей и тяжело нагруженных ответственных соединений.

Для повышения прочности крепежные резьбовые детали подвергают соответствующей термообработке или механическому упрочнению. Применение высокопрочных крепежных резьбовых деталей позволяет существенно снизить массу соответствующей детали машины, например массу автомобильного двигателя.

Стальные болты, винты, шпильки и гайки изготавливают 12 классов прочности.

Повышение прочности и значительное снижение массы резьбовых соединений достигаются при изготовлении крепежных резьбовых деталей из титановых сплавов. По сравнению со стальными масса их снижается примерно в два раза. Поэтому в самолетостроении и других отраслях промышленности, где снижение массы играет значительную роль, применение титановых сплавов имеет широкие перспективы. В технических обоснованных случаях крепежные резьбовые детали изготавливают также из сплавов цветных металлов.

Обыкновенные шайбы и гаечные замки (кроме пружинных) для облегчения изготовления обычно выполняют из низкоуглеродистых сталей марок Ст0, Ст1, Ст2, Ст3, Сталь 08, 10, 15, 20 и 25. Пружинные замки изготавливают из пружинной стали марок Сталь 65, 70, 75, 65Г и др.

Если необходимо снизить массу соединения или обеспечить его герметичность, электро- и теплоизоляцию, коррозионную стойкость, надежность стопорения гаек и винтов, то резьбовые детали частично или полностью изготавливают из пластмасс (полиамидов, текстолита, синтетической резины и др.). Для стопорения гаек и винтов применяют нейлоновые или текстолитовые стопорные кольца, нейлоновые или резиновые стопорные шайбы, которые обеспечивают также герметичность соединения, и стопорные нейлоновые пробки. Для надежности стопорения крепежа в некоторых случаях гайки целиком изготавливают из нейлона. Пластмассовые накладки направляющих и подобных деталей обычно закрепляют винтами, изготовленными из того же материала, что и закрепляемые им детали.

## 7.5.3. СОЕДИНЕНИЯ РЕЗЬБОВЫХ КРЕПЕЖНЫХ ДЕТАЛЕЙ. ДОПУСКАЕМЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ

При расчете болтов (винтов и шпилек) на статическую нагрузку допускаемые напряжения при растяжении значения  $[\sigma_p]$  при неконтролируемой затяжке выбирают в зависимости от предела текучести материала  $\sigma_m$  (табл. 7. 65 и 7.66).

Механические характеристики материалов резьбовых крепежных соединений из углеродистых и легированных сталей при нормальной температуре (ГОСТ 1759–70\*)

| Болты             |                             | Гайки           |                      | $\sigma_b$ , МПа | $\sigma_T$ , МПа  | НВ        |
|-------------------|-----------------------------|-----------------|----------------------|------------------|-------------------|-----------|
| класс прочности   | марка стали                 | класс прочности | марка стали          |                  |                   |           |
| 3.6               | Ст3 кп, Ст3сп, 10,10 кп     | 4               | Ст3 кп, Ст3 сп       | 300...490        | 200               | 90...150  |
| 4.6<br>4.8        | 20 10, 10 кп                | 5               | 10, 10кп<br>20       | 400...550        | 240<br>320        | 110...170 |
| 5.6<br>5.8        | 30, 35, 20,<br>20кп, Ст3 кп | 6               | Ст5, 15,<br>15кп, 35 | 500... 700       | 300<br>400        | 140...215 |
| 6.6<br>6.8<br>6.9 | 35*, 45, 40 Г<br>20, 20 кп  | 8               | 20, 20кп,<br>35, 45  | 600...800        | 360<br>480<br>540 | 170...245 |
| 8.8               | 35*,35X,<br>38 ХА, 45 Г     | 10              | 35 X,<br>38ХА        | 800...1000       | 640               | 225...300 |
| 10.9              | 40 Г2, 40 X<br>30 ХГСА      | 12              | 40 X,<br>30 ХГСА     | 1000...1200      | 900               | 280...365 |
| 12.9              | 30 ХГСА                     | 14              | 30 ХГСА              | 1200...1400      | 1080              | 330...425 |
| 14.9              | 40 ХНМА                     |                 | 40 ХНМА              | 1400...1600      | 1260              | 390 н св. |

*Примечания:* Класс прочности болтов обозначен двумя числами. Первое число, умноженное на 100, определяет минимальное значение  $\sigma_b$ , МПа, второе, деленное на 10, соответствует примерному значению  $\sigma_T/\sigma_b$ ; произведение чисел, умноженное на 10, дает  $\sigma_T$ , МПа (для класса прочности 3,6 значения приближительные).  
Класс прочности гаек обозначен числом, которое при умножении на 100 дает величину напряжения от испытательной нагрузки в МПа.  
\* Для болтов с диаметром резьбы до 16 мм включительно.

Допускаемые напряжения на растяжение  $[\sigma]_p$  у стальных крепежных деталей

| Материал болта     | Постоянная нагрузка                         |                         | Переменная нагрузка      |                 |
|--------------------|---|-------------------------|--------------------------|-----------------|
|                    | M6...M16                                    | M16...M30               | M6...M16                 | M16...M30       |
|                    | <i>при неконтролируемой затяжке</i>         |                         |                          |                 |
| Углеродистая сталь | $(0,2...0,25) \sigma_T$                     | $(0,25...0,4) \sigma_T$ | $(0,08...0,12) \sigma_T$ | $0,12 \sigma_T$ |
| Легированная сталь | $(0,15...0,2) \sigma_T$                     | $(0,2...0,3) \sigma_T$  | $(0,1...0,15) \sigma_T$  | $0,15 \sigma_T$ |
|                    | <i>при контролируемой затяжке</i>           |                         |                          |                 |
| Углеродистая сталь | $[\sigma]_p \approx 0,6\sigma_T$            |                         |                          |                 |
| Легированная сталь | $[\sigma]_p \approx (0,4\div 0,55)\sigma_T$ |                         |                          |                 |

Для незатянутых болтов, нагруженных осевой силой:

$$[\sigma_p] = \sigma_T / [n].$$

Допускаемый коэффициент запаса прочности принимают

$[n] = 1,5...2$  – для болтов из углеродистой стали;

$[n] = 1,8...2,5$  – для болтов из легированной стали; большие значения  $[n]$  принимают при недостаточно точном определении размера осевой силы.

Для затянутых болтов (винты, шпильки):

$[n] = 1,5...2,2$  – для болтов из углеродистой стали;

$[n] = 2...3$  – для болтов из легированной стали; эти значения  $[n]$  принимают при контролируемой затяжке. Если затяжка не контролируется, то для  $d \leq 30$  мм указанные значения  $[n]$  следует увеличить в два раза, принимая  $[n]_{\max}$  для болтов с резьбой  $d \leq M12$ .

$[\tau_{cp}] = 0,4\sigma_T$  – при постоянном нагружении стержня болта;

$[\tau_{cp}] = (0,25... 0,30)\sigma_T$  – при переменном нагружении стержня болта;

$[\tau_{cp}] = 0,2\sigma_T$  – для стальной гайки;

$[\tau_{cp}] = 25...35$  МПа – для бронзовой гайки;

$[\sigma_{cm}] = (0,8... 1,0)\sigma_T$  – для углеродистой стали;

$[\sigma_{cm}] = (0,6... 0,8)\sigma_T$  – для легированной стали;

$[\sigma_{cm}] = (0,6...0,8)\sigma_b$  – для чугуна.

Удельные давления:

$[q] = 1,0...2,0$  МПа – для бетона;

$[q] = 1,0...2,0$  МПа – для дерева;

$[q] = 4,5...6,0$  МПа – незакаленная сталь-чугун;

$[q] = 10,0...13,0$  МПа – закаленная сталь-антифрикционный чугун;

$[q] = 7,5...13,0$  МПа – сталь-сталь;

$[q] = 8,0...10,0$  МПа – незакаленная сталь-бронза;

$[q] = 10,0...13,0$  МПа – закаленная сталь-бронза;

#### 7.5.4. РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ РЕЗЬБОВЫХ КРЕПЕЖНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Элементы наружной резьбы (болта) обозначают  $d$ ,  $d_1$  и  $d_2$  (наружный, внутренний, средний), а внутренней резьбы (гайки) –  $D$ ,  $D_1$  и  $D_2$ .

Средний диаметр резьбы  $d_2 = D_2 = p/\pi \operatorname{tg} \gamma$ .

Внутренний диаметр резьбы  $d_1 = d - 1,08p \approx 0,85d$ .

Основным критерием работоспособности крепежных резьбовых соединений является прочность. Стандартные крепежные детали с резьбой сконструированы равнопрочными по следующим параметрам: по напряжению среза и смятия в резьбе, по напряжению растяжения в нарезанной части стержня и в месте перехода стержня в головку. Поэтому для стандартных крепежных деталей в качестве главного критерия работоспособности принята прочность стержня на растяжение, по которой ведут расчет болтов, винтов и шпилек. Расчет резьбы на прочность выполняют, в качестве проверочного, лишь для нестандартных деталей.

**Расчет резьбы на прочность при постоянной нагрузке.** Как показали исследования, нагрузка между витками резьбы винта и гайки распределена в значительной степени неравномерно. Установлено, что в стандартной гайке с шестью витками на первый, наиболее нагруженный виток приходится  $\approx 52\%$  общей осевой нагрузки, на второй – 25, на третий – 12, на четвертый – 6, на пятый – 3 и на шестой – 2%. Поэтому в гайке обычно не более 8 витков.

Однако, в действительности, характер распределения нагрузки по виткам зависит от многих факторов, трудно поддающихся учету (неточности изготовления, степени износа резьбы, материала и конструкции гайки и болта и т.д.). Поэтому при расчете резьбы условно считают, что все витки нагружены одинаково, а неточность в расчете компенсируют значением допускаемого напряжения.

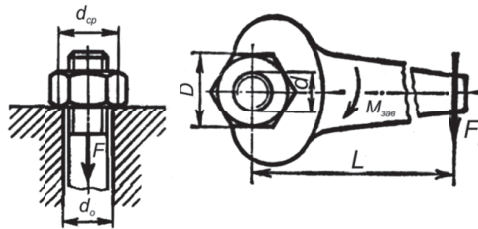


Рис. 7.12. Затяжка крепежного резьбового соединения с осевой силой F

**Условия прочности резьбового крепежного соединения.** Условия прочности резьбового стержня на растяжение определяют по зависимости

$$\sigma_p = \frac{4F}{\pi d_1^2} \leq [\sigma_p], \text{ откуда}$$

расчетный диаметр болта

$$d_1 = \sqrt{\frac{4F}{\pi[\sigma_p]}}$$

где  $F$  – осевая сила,  $H$ ;  $\sigma_p$  – допускаемое напряжение на растяжение, МПа.

Условие прочности резьбового стержня на срез имеет вид

$$\tau_{cp} = F/A_{cp} \leq [\tau]_{cp},$$

где  $F$  – осевая сила;  $A_{cp}$  – площадь среза витков нарезки; (рис. 7.12) для винта  $A_{cp} = \pi d_1 k H_z$ , для гайки  $A_{cp} = \pi D k H_z$ . Здесь  $H_z$  – высота гайки;  $k$  – коэффициент, учитывающий ширину основания витков резьбы: для метрической резьбы для винта  $k \approx 0,75$ , для гайки  $k \approx 0,88$ ; для трапецидальной и упорной резьбы  $k \approx 0,65$ ; для прямоугольной резьбы  $k \approx 0,5$ . Если винт и гайка из одного материала, то на срез проверяют только винт, так как  $d_1 < D$ .

Условие прочности резьбы на смятие имеет вид

$$\sigma_{cm} = F/A_{cm} \leq [\sigma]_{cm},$$

где  $A_{cm}$  – условная площадь смятия (проекция площади контакта стержня с резьбой винта и гайки на плоскость, перпендикулярную оси):  $A_{cm} = \pi d_2 h z$ , где (рис. 7.12)  $\pi d_2$  – длина одного витка по среднему диаметру;  $h$  – рабочая высота профиля резьбы;  $z = H_z/p$  – число витков резьбы в гайке высотой  $H_z$ ;  $p$  – шаг резьбы.

**Основы расчета на прочность стандартных резьбовых изделий.** Используемые в конструкциях болты, винты и шпильки работают с восприятием осевой нагрузки, которая может создаваться внешней нагрузкой (грузом, давлением и т.п.) или предварительной затяжкой резьбового соединения. В результате они подвергаются не только растяжению, потому что при затяжке их в поперечном сечении возникают продольная сила и крутящий момент и их стержни испытывают растяжение и кручение, а резьба подвергается срезу, изгибу и смятию.

В стандартных резьбовых изделиях высота головок болтов и гаек установлена, исходя из равнопрочности резьбы на их стержне. Поэтому при применении стандартных крепежных изделий, работающих при статических нагрузках, можно ограничиться проверкой расчетом их по основному критерию работоспособности – прочности стержня болта при совместном действии растяжения и кручения.

Расчетную площадь  $S_p$  болта (винта, шпильки), работающего на растяжение или растяжение и кручение, принимают по расчетному сечению диаметром

$$d_p \approx d - 0,9p.$$

Болт рассчитывают только на растяжение, а влияние кручения, возникающего при затяжке, учитывают коэффициентом  $k_{зам}$ , значение которого зависит от соотношения параметров резьбы  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $\mu$  и приведенного угла трения  $\rho'$ .

При расчетах для метрической резьбы можно принимать  $k_{зам} = 1,3$ .

**Расчет затяжки резьбового крепежного соединения.** При затяжке резьбового соединения (рис. 7.12) с осевой силой  $F$  создается момент завинчивания  $M_{зав}$ , равный сумме момента сил в резьбе  $M_p$  и момента сил трения  $M_{он}$  на опорной поверхности гайки, которые выражаются зависимостями:

$$M_p = 0,5d_2 F \operatorname{tg}(\mu + \rho'), \text{ при этом}$$

$M_{он} = Ffd_{cp}/2$  (предполагается, что равнодействующая сил трения приложена на среднем диаметре  $d_{cp}$  опорной поверхности), откуда

$$M_{зав} = 0,5d_2 F \operatorname{tg}(\mu + \rho') + Ffd_{cp}/2,$$

где  $d_{cp} = 0,5(D + d_0)$ :  $D$  – наружный диаметр опорной поверхности гайки;  $d_0$  – диаметр отверстия под болт.

$tg \mu = P/\pi d$ , где  $P$  – шаг резьбы;  $d$  – диаметр резьбы;  $\mu$  – угол подъема винтовой линии резьбы;  $\mu \approx 2...7^\circ$  – меньшие значения для крепежных резьб.

$\rho' = f / (\cos \alpha/2)$  – приведенный угол трения, где  $\alpha$  – угол профиля резьбы (метрической –  $\alpha=60^\circ$ ; трапецидальной –  $\alpha=30^\circ$ ).

$\rho' \approx 2...5^\circ$  для стального винта и бронзовой гайки;

$\rho' \approx 4...8^\circ$  для стального винта и чугунной гайки;

Для крепежных резьб средние значения  $\mu \approx 2^\circ 30'$ ;  $d_2 \approx 0,9d$ ;  $d_{cp} \approx 1,4d$ , где  $d$  – номинальный диаметр резьбы; тогда при  $f = 0,10 \div 0,15$  (меньшее значение при следах смазки)

$$M_{зав} \approx 0,2 Fd.$$

Длина стандартных ключей  $L \approx 15d$ . Приложив к концу ключа силу  $F_p$ , можно определить отношение  $F/F_p$ , т. е. выигрыш в силе за счет резьбы. Так как  $M_{зав} = F_p L$ , то  $0,2Fd = 15F_p d$ , откуда  $F/F_p \approx 75$ .

Рекомендуемая допускаемая сила затяжки  $[F_p]$  болта из стали Ст3 в зависимости от диаметра резьбы и размер захвата гаечного ключа  $D$  (размер «под ключ»  $S$ ) приведены в табл. 7.67.

Т а б л и ц а 7.67

| Допускаемая сила затяжки резьбового крепежного соединения $[F_p]$ |      |      |      |      |      |      |      |
|---|------|------|------|------|------|------|------|
| $d$ , мм  | M8   | M10  | M12  | M16  | M20  | M24  | M30  |
| $[F_p]$ , кН  | 1,40 | 2,40 | 3,60 | 7,50 | 14,0 | 23,0 | 45,0 |
| $S = D$ , мм  | 12   | 14   | 17   | 22   | 27   | 32   | 41   |

Расчет и практика эксплуатации резьбовых соединений показали, что болты с резьбой менее M10 при затяжке стандартными ключами ( $L \approx 15d$ ) могут быть разрушены. Например, болт с резьбой M6 из стали Ст3 разрушается при силе на ключе  $F_p \approx 45H$ .

Поэтому при проектировании резьбовых соединений для машин технологического назначения не рекомендуется применять болты с резьбой, менее M8 (безопасная затяжка болтов малых диаметров осуществляется специальными ключами, ограничивающими размер силы  $F_p$ ).

Рекомендуемая глубина завинчивания винта (болта):

$H \approx 0,9d$  – в стальные детали;

$H \approx 1,4d$  – в чугунные детали;

$H \approx (1,5... 2) d$  – в детали из легких сплавов.

**Расчет болтовых соединений, нагруженных осевой силой.** При расчете конструкция, прилагаемые нагрузки и используемый материал для резьбового соединения обычно известны, а требуется установить номинальный диаметр  $d$  резьбы болта и (или) число болтов  $z$ .

Поэтому расчет болтового соединения заключается в определении по прочности требуемого диаметра резьбы или числа болтов.

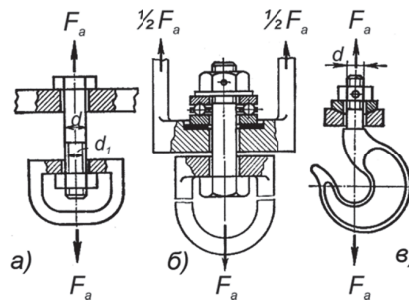


Рис. 7.13. Резьбовые соединения без предварительного напряжения затяжки

Резьбовые соединения без предварительного напряжения затяжки, нагруженные только осевой силой, например болт для подвески грузовой скобы (рис. 7.13 а, б) или хвостовик грузовой крюка (рис. 7.13, в), рассчитывают только на растяжение по формуле:

$$\sigma_p = \frac{F_a}{zS_p} = \frac{4F_a}{\pi z d_p^2} \leq [\sigma_p],$$

где  $F_a$  – осевая нагрузка, эквивалентная продольной силе;  $z$  – число болтов;

$S_p = \frac{\pi d_p^2}{4}$  – расчетная площадь поперечного сечения болта.

Отсюда получаем

$$d_p \geq \sqrt{\frac{4F_a}{\pi z [\sigma_p]}}, \text{ мм.}$$

#### Пример

Грузоподъемная сила крана (рис. 7.13, в): а)  $Q = 50$  кН; б)  $Q = 35$  кН. Определить диаметр нарезанной части хвостовика крюка, изготовленного из стали Ст3.

**Вычисление**

Хвостовик крюка рассматривается как незатянутый болт, работающий на растяжение. Для стали Ст3,  $\sigma_T = 235 \dots 216$  МПа, принимаем  $\sigma_m = 225$  МПа.

При расчете резьбовых соединений, применяемых в подъемного оборудования, допускаемые значения коэффициента запаса прочности  $[n] = 1,5 \dots 2$ , рекомендованные для статических нагрузок в общем машиностроении, необходимо увеличить в два раза.

Принимая для резьбы крюка крана  $[n] = 4$ , получаем

$$[\sigma_p] = \sigma_m / [n] = 225/4 = 56,3 \text{ МПа.}$$

При  $F_a = G$ ,  $z = l$  внутренний диаметр резьбы хвостовика

$$d_p \geq \sqrt{\frac{4F_a}{\pi z [\sigma_p]}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 50 \cdot 10^3}{\pi \cdot 1 \cdot 56,3}} = 33,6 \text{ мм}$$

принимаем  $d = 39$  мм,  $p = 4$  мм.

Получаем  $d_p \approx d - 0,9p = 0,9 \cdot 4 + 33,6 = 37,2$  мм.

**Резьбовые крепежные соединения с предварительным напряжением затяжки.** Затяжку болтов, нагруженных осевой силой, с предварительным напряжением затяжки, обеспечивающих нераскрытие стыка или герметичность соединения, например, крепление крышек резервуаров под давлением жидкости или газа, учитывают кроме  $k_{зам} = 1,3$  коэффициентом нагрузки К. Значение К зависит от многих факторов: характера нагрузки, материала и формы прокладок, шероховатости поверхности и числа поверхностей стыка, податливости болта – его деформирование под нагрузкой (с увеличением податливости болта и снижением податливости деталей уменьшается приращение нагрузки болта) и т. п. При практическом расчете таких соединений используют формулу

$$\sigma_p = \frac{4k_{зам}KF_a}{\pi z d^2} \leq [\sigma_p],$$

принимая следующие значения коэффициента нагрузки К по условию нераскрытия стыка.

К = 1,45.. 2,3 при постоянной нагрузке;

К = 2,7...4,3 при переменной нагрузке;

К = 1,5.. 2,8 по условию герметичности соединения при мягкой прокладке (войлок, резина);

К = 2,2.. 3,8 при металлической фасонной прокладке;

К = 3,2...5,3 при металлической плоской прокладке.

Диаметр болта определяют при условии, что

$$d \geq 0,9p + d_p,$$

где  $d_p \geq \sqrt{\frac{4k_{зам}KF_a}{\pi z [\sigma_p]}}$ .

**Пример**

Крышка подшипника червячного редуктора крепится к корпусу шестью винтами (рис. 7.14). Подобрать винты из стали Ст3,  $[\sigma_p] = 115$  МПа, если  $F_a = 4,5$  кН.

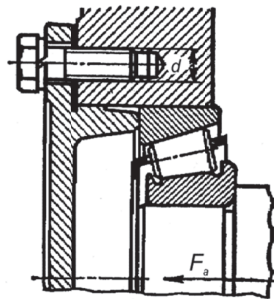


Рис. 7.14. Подшипниковый узел червячного редуктора

**Вычисление**

Винты (болты), прикрепляющие крышку к корпусу подшипника должны быть затянуты в процессе сборки для обеспечения герметичности подшипникового узла. Помимо усилия затяжки винты воспринимают осевую нагрузку  $F_a$ .

Между корпусом редуктора и крышкой подшипника устанавливаем прокладку из технического картона, при этом  $K=2,1$  для мягкой прокладки; для метрической резьбы  $k_{зам} = 1,3$ .

Расчет таких винтов ведем при условии, что  $F_a = F_z$ .

$$d_p \geq \sqrt{\frac{4k_{зам}KF_a}{\pi z [\sigma_p]}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,3 \cdot 2,1 \cdot 4,5 \cdot 10^3}{\pi \cdot 6 \cdot 115 \cdot 10^6}} = \sqrt{22,7 \cdot 10^{-6}} = 4,76 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Принимаем 6 мм (М6), с учетом риска разрушения винтов М6 при затяжке следует принять винты М8.



**Резьбовые крепежные соединения, нагруженные поперечной силой**, перпендикулярной оси болта, имеют две конструктивные разновидности:

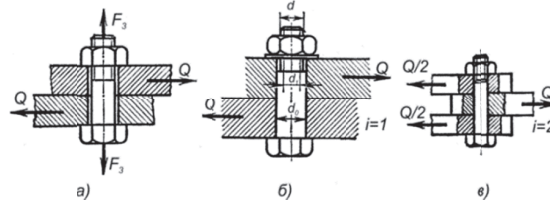


Рис. 7.15. Резьбовые крепежные соединения, нагруженные поперечной силой

а) болт, поставленный в отверстие *с зазором* (рис. 7.15, а) и затянутый так, чтобы сила трения, возникающая между поверхностями соприкасающихся деталей, обеспечила нормальную работу соединения без относительного смещения деталей.

В этом случае

$$F_f = fF_3 \geq Q \text{ или } fF_3 = KQ \text{ и, следовательно,}$$

$$F_3 = KQ/f, \text{ – сила затяжки,}$$

где  $K = 1,2 \dots 1,5$  – коэффициент запаса от взаимного сдвига деталей.

Такой болт работает на растяжение и кручение. Учитывая работу болта на кручение коэффициентом затяжки  $k_{зам} = 1,3$ , получаем следующую расчетную зависимость:

$$\sigma_{экр} = \frac{k_{зам} F_3}{z S_p} = \frac{4k_{зам} KQ}{\pi f z d_p^2} \leq [\sigma_p],$$

где  $f$  – коэффициент трения между поверхностями соединяемых деталей.

Здесь расчетное напряжение обозначено  $\sigma_{экр}$ , так как оно учитывает совместное влияние нормальных напряжений от растяжения болта и касательных напряжений, возникающих при его кручении. Отсюда следует, что

$$d_p \geq \sqrt{\frac{4k_{зам} KQ}{\pi f [\sigma_p]}};$$

б) болт, поставленный в отверстие *без зазора* (рис. 7.15, б, в), диаметр которого определяют из расчетов *на срез*:

$$\tau_{ср} = \frac{Q}{n z S_0} = \frac{4Q}{\pi n z d_0^2} \leq [\tau_{ср}], \text{ откуда}$$

$$d_0 \geq \sqrt{\frac{4Q}{\pi n z [\tau_{ср}]}}$$

и *смятие*:

$$\sigma_{см} = \frac{Q}{z S_{см}} = \frac{Q}{z d_0 \delta_{мин}} \leq [\sigma_{см}], \text{ откуда}$$

$$d_0 \geq \frac{Q}{z \delta_{мин} [\sigma_{см}]},$$

где  $S_0 = \pi d_0^2 / 4$  – площадь сечения стержня болта в том месте, где он подвергается срезу;

$d_0 = d + (1 \dots 2)$  мм – диаметр ненарезанной части болта (рис. 7.15, б);  $d$  – номинальный диаметр резьбы болта;  $\delta_{мин}$  – наименьшая толщина соединяемых деталей;  $n$  – число плоскостей среза (рис. 7.15, б и в);  $z$  – число болтов.

### Пример

Чугунный, СЧ 15  $\sigma_{пр} = 153$  МПа, корпус подшипника, нагруженный силой:

$Q = 16$  кН прикрепляется к станине четырьмя болтами (рис. 7.16)  $\delta = 18$  мм.

Подобрать болты из стали Ст3 ( $\sigma_m = 225$  МПа) для двух случаев; болты поставлены с зазором; болты поставлены без зазора в отверстия из-под развертки.

### Вычисление

Болты, соединяющие корпус подшипника со станиной, в рассматриваемом случае нагружены поперечной силой.

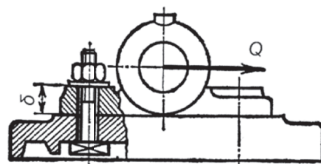


Рис. 7.16. Чугунный корпус и параметры для вычислений

Для болтов, поставленных в отверстия с зазорами, вычисляем допускаемое напряжение при растяжении. Принимая для стали Ст3,  $\sigma_r = 225$  МПа и  $[n] = 2$ , получаем

$$[\sigma_p] = \sigma_m / [n] = 225/2 = 112,5 \text{ МПа.}$$

Принимаем  $f = 0,14$ . Коэффициент запаса от сдвига стыка  $K = 1,2$ ; тогда при  $z = 4$  получаем

$$d_p \geq \sqrt{\frac{4k_{зам} KQ}{\pi z f [\sigma_p]}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,3 \cdot 1,2 \cdot 16 \cdot 10^3}{\pi \cdot 4 \cdot 0,14 \cdot 112,5}} = \sqrt{505} = 22,45 \text{ мм.}$$

принимаем  $d = 27$  мм при  $P = 3$  мм.

Для болтов, поставленных без зазора в отверстия из-под развертки, определяем диаметр  $d_0$  из расчета на срез. Принимая среднее значение допускаемого напряжения на срез

$$[\tau_{ср}] = 0,275 \sigma_m = 0,275 \cdot 225 = 61,0 \text{ МПа.}$$

Для расчета соединения на смятие для чугуна СЧ 15  $\sigma_{ср} = 153$  МПа и, следовательно,

$$[\sigma_{см}] = (0,6 \dots 0,8) \sigma_{ср} = 0,7 \cdot 153 \approx 107 \text{ МПа.}$$

Из уравнения прочности на срез определяем диаметр стального болта

$$d_0 \geq \sqrt{\frac{4Q}{\pi z [\tau_{ср}]}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 16 \cdot 10^3}{\pi \cdot 1 \cdot 4 \cdot 61,9}} = \sqrt{82,3} = 9,05 \text{ мм.}$$

Из уравнения прочности на смятие определяем диаметр стального болта

$$d_0 \geq \frac{Q}{z \delta_{\min} [\sigma_{см}]} = \frac{16 \cdot 10^3}{4 \cdot 18 \cdot 107} = 2,07 \text{ мм.}$$

Следовательно, можно принять  $d_0 = 9$  мм из расчета на срез; при этом номинальный диаметр резьбы болта  $d = 8$  мм (М8).

## 7.6. ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ НА РЕЗЬБОВЫЕ КРЕПЕЖНЫЕ ИЗДЕЛИЯ С МЕТРИЧЕСКОЙ РЕЗЬБОЙ

### 7.6.1. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РЕЗЬБОВЫХ КРЕПЕЖНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Для характеристики механических свойств резьбовых и крепежных деталей предусмотрены классы и группы прочности в зависимости от материала и технологического процесса изготовления (табл. 7.68). Выбор материала зависит от эксплуатационных условий и технических требований, предъявляемых к конструкции машины или механизма.

Таблица 7.68

Крепежные изделия с метрической резьбой. Классы прочности по ГОСТ 1759-70

| Наименование крепежных изделий | Марка материала              | Класс прочности или условное обозначение группы |
|--------------------------------|------------------------------|---|
| Болты                          | Сталь 10кп ГОСТ 1050-74      | 4,8   |
|                                | Сталь 35 ГОСТ 1050-74        | 5,6; 6,6; 8,8                                   |
|                                | Сталь 12Х18Н9Т ГОСТ 5032-72  | 21  |
| Винты                          | Сталь 10кп ГОСТ 1050-74      | 4,8   |
|                                | Сталь 35 ГОСТ 1050-74        | 5,6; 8,8  |
|                                | Л63 ГОСТ 15527-70            | 32  |
| Винты установочные             | Сталь 12х18Н9Т ГОСТ 5532-72  | 21  |
|                                | Сталь 35 ГОСТ 1050-74        | 14Н; 22Н; 33Н                                   |
| Гайки                          | Сталь 10кп ГОСТ 1050-74      | 05  |
|                                | Сталь 35 ГОСТ 1050-74        | 6; 8  |
|                                | Л63 ГОСТ 15527-70            | 32  |
|                                | Сталь 12Х18Н9Т ГОСТ 5632-72  | 21  |
| Гайки низкие                   | Сталь 10кп ГОСТ 1050-74      | 04  |
|                                | Л63 ГОСТ 15527-70            | 32  |
| Заклепки                       | Сталь 10кп ГОСТ 1050-74      | 01  |
|                                | Л63 ГОСТ 15527-70            | 32  |
|                                | МЗ ГОСТ 859-78               | 38  |
|                                | АД1 ГОСТ 4784-74             | 37  |
| Шайбы                          | Сталь 08кп ГОСТ 1050-74      | 01  |
|                                | Сталь 35 ГОСТ 1050-74        | 05  |
|                                | Сталь 12Х18Н10Т ГОСТ 5632-72 | 21  |
|                                | Л63 ГОСТ 15527-70            | 32  |
| Штифты                         | Сталь 45 ГОСТ 1050-74        | -   |
| Шпильки                        | Сталь 10кп ГОСТ 1050-74      | 5,8   |
|                                | Сталь 35 ГОСТ 1050-74        | 5,6; 6,6; 8,8                                   |
| Шплинты                        | Сталь 10кп ГОСТ 1050-74      | 01  |
| Ушки для пружин                | Сталь 10кп ГОСТ 1050-74      | 4,8   |
|                                | Сталь 35 ГОСТ 1056-74        | 5,6   |

Примечание. В прямоугольных рамках указаны значения классов прочности (групп) предпочтительного применения.

Виды покрытий для резьбовых крепежных изделий выбирают в зависимости от материала, технологического процесса изготовления и эксплуатационных условий, предъявляемых к конструкции (табл. 7.69 и 7.70).

Т а б л и ц а 7.69

## Крепежные изделия с метрической резьбой. Виды покрытий

| Вид покрытия                  | Обозначение покрытия |          |
|-------------------------------|----------------------|----------|
|                               | по ГОСТ 9.306-85     | цифровое |
| Цинковое, хромированное       | Ц.хр                 | 01       |
| Кадмиевое, хромированное*     | Кд.хр                | 02       |
| Медно-никелевое, многослойное | М.Н                  | 03       |
| Окисное, пропитанное маслом   | Хим. Окс. прм        | 05       |
| Оловянное                     | О                    | 07       |
| Никелевое                     | Н                    | 13       |

**Примечания:**  
1. Покрытие окисное, пропитанное маслом является предпочтительными для применения.  
2. Крепежные изделия из коррозионностойких сталей и заклепки применяют, как правило, без покрытий.  
\* Кадмиевое, хромированное покрытие применяется для изделий, предназначенных для эксплуатации в условиях тропического климата.

Т а б л и ц а 7.70

## Крепежные изделия с метрической резьбой. Толщина покрытия

| Поверхности с резьбой |              | Поверхности без резьбы |
|-----------------------|--------------|------------------------|
| шаг резьбы, мм        | толщина, мкм | толщина, мкм           |
| От 0,4 до 0,45        | 3            | 6 – 9                  |
| От 0,5 до 0,75        | 6            |                        |
| От 0,8 до 5           | 9            |                        |

## 7.6.2. Нормы точности для резьбовых крепежных деталей

*Отклонения* – верхнее для болтов и нижнее для гаек – отсчитывается от номинального профиля резьбы перпендикулярно оси резьбы. Основные отклонения для резьбы болтов обозначают – h, g, e, d, для гаек – H, G.

Для диаметров болтов и гаек установлены следующие ряды допусков (степеней точности) (табл. 7.71).

Т а б л и ц а 7.71

## Крепежные изделия с метрической резьбой

| Ряды допусков (степеней точности) |                  |
|-----------------------------------|------------------|
| Диаметр                           | Степень точности |
| Болта наружный                    | 4, 6, 8          |
| Болта средний                     | 4, 6, 7, 8, 9    |
| Гайки внутренний                  | 5, 6, 7          |
| Гайки средний                     | 4, 5, 6, 7       |

За основу ряда допусков для всех диаметров резьбы принята 6-я степень точности. Ее рекомендуют для резьбы средней точности и при нормальной длине свинчивания.

Допуски для остальных степеней точности определяют умножением допуска 6-й степени точности на коэффициент, изменяющийся по ряду R10 предпочтительных чисел (табл. 7.72).

Т а б л и ц а 7.72

## Коэффициенты для расчета допусков

| Степени точности | 3   | 4    | 5   | 6   | 7    | 8   | 9 |
|------------------|-----|------|-----|-----|------|-----|---|
| Коэффициент      | 0,5 | 0,63 | 0,8 | 1,0 | 1,25 | 1,6 | 2 |

Поля допусков рекомендуется выбирать с учетом длин свинчивания, которые разделены на три группы:

малые длины свинчивания  $S \leq 2,24P - d^{0,2}$ ;

нормальные длины –  $2,24P - d^{0,2} \leq N \leq 6,7P - d^{0,2}$ ;

большие длины –  $L \geq 6,7P - d^{0,2}$ .

В соответствии с требованиями, предъявленными к точности резьбового соединения, поля допусков болтов и гаек установлены в трех классах точности: точном, среднем и грубом (табл. 7.73).

Т а б л и ц а 7.73

## Крепежные детали с метрической резьбой. Поля допусков

| Длина свинчивания | Класс точности | Отклонения         |      |                      |        |        |
|-------------------|----------------|--------------------|------|----------------------|--------|--------|
|                   |                | поля допусков гаек |      | поля допусков болтов |        |        |
|                   |                | H                  | G    | h                    | g      | e      |
| S<br>(короткая)   | Точный         | 4H                 | –    | (3h4h)               | –      | –      |
|                   | Средний        | 5H                 | (5G) | (5h6h)               | (5g6g) | –      |
|                   | Грубый         | –                  | –    | –                    | –      | –      |
| N<br>(нормальная) | Точный         | 5H                 | –    | 4h                   | –      | –      |
|                   | Средний        | 6H                 | (6G) | 6h                   | 6g     | 6e     |
|                   | Грубый         | 7H                 | 7G   | 8h                   | 8g     | –      |
| L<br>(длинная)    | Точный         | 6H                 | –    | (5h4h)               | –      | –      |
|                   | Средний        | 7H                 | 7G   | (7h6h)               | (7g6g) | (7e6e) |
|                   | Грубый         | 8H                 | 8G   | –                    | (9g8g) | –      |

**Примечания:**

1. Применение полей допусков, выделенных жирным шрифтом, предпочтительно.

2. Поля допусков, заключенные в скобки, рекомендуется применять ограниченно.

3. При длинах свинчивания S, применять класс точности «грубый» не рекомендуется.

Размеры резьбы после покрытия не должны выходить за пределы, определяемые ее профилем, и соответствовать основным отклонениям  $h$ ; Н.

Для стандартизованных полей допусков задаются предельные отклонения для резьбы болтов: верхнее – для наружного  $d$ , среднего  $d_2$  и внутреннего  $d_1$  диаметров; нижнее – для наружного  $d$  и среднего  $d_2$  диаметров. Для внутреннего диаметра резьбы болта нижнее отклонение не регламентируется, но косвенно ограничивается формой впадины резьбы болта.

Поля допусков наружной и внутренней метрической резьбы для крепежных изделий и сопрягаемых отверстий устанавливаются по ГОСТ 16093-81:

- для наружной резьбы – 6g;
- для внутренней резьбы – 6H.

Неуказанные предельные отклонения размеров: Н14, h14,  $\pm \frac{t_2}{2}$ .

Неуказанные допуски формы и расположения – по ГОСТ 25069-81.

Пример условного обозначения:

Болта М12 с длиной стержня 60 мм, с полем допуска наружной резьбы 6g, класса прочности 5.6, с оксидным покрытием (05): *Болт М12-6g×60.56.05 ГОСТ 7808-70*;

Болта М12 с длиной стержня 60 мм, с полем допуска наружной резьбы 6g, класса прочности 5.6, с цинковым покрытием (01) толщиной 9 мкм: *Болт М12-6g×60.56.019 ГОСТ 7808-70*;

Гайки с резьбой М12 с полем допуска наружной резьбы 6Н, класса прочности 5, с оксидным покрытием (05):

*Гайка М12-6Н.5.05 ГОСТ 7927-70*;

гайки с резьбой М12 с полем допуска наружной резьбы 6Н, класса прочности 5, с цинковым покрытием (01) толщиной 9 мкм: *Гайка М12-6Н.5.019 ГОСТ 7927-70*.

### 7.6.3. КРЕПЕЖНЫЕ ДЕТАЛИ С МЕТРИЧЕСКОЙ РЕЗЬБОЙ. ТИПЫ СОЕДИНЕНИЙ, ММ

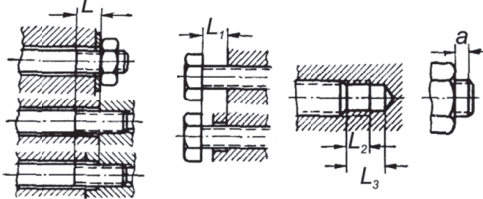
Таблица 7.74

Запас резьбы, глубины сверления и выход конца винта из гайки в соединении с метрической резьбой, (мм) (значения эмпирические\*)

| Шаг резьбы, Р                                 | Диаметр резьбы, d | Глубина закрутки винта, а = K <sub>p</sub> d |                                 |                  |                |     |
|---|-------------------|--|---------------------------------|------------------|----------------|-----|
|   |                   | ≥ a <sub>1</sub>                             | ≥ a <sub>2</sub><br>(без сбега) | ≥ a <sub>3</sub> | a <sub>4</sub> | c   |
| 1,0   | 6                 | 3,5  | 2                               | 6                | 1,5÷2,5        | 1,0 |
| 1,25  | 8                 | 4  | 2,5                             | 8                | 1,5÷2,5        | 1,6 |
| 1,5   | 10                | 4,5  | 3                               | 9                | 2 ÷3           |     |
| 1,75  | 12                | 5,5  | 3,5                             | 11               | 2÷3,5          | 2   |
| 2,0   | 16                | 6  | 4                               | 12               | 2,5÷4          |     |
| 2,5   | 18, 20, 22        | 7  | 5                               | 15               | 2,5÷5          |     |
| 3,0   | 24, 27            | 8  | 6                               | 18               | 3÷6            | 2,5 |
| 3,5   | 30, 32            | 10   | 7                               | 21               | 3,5÷7          |     |
| 4,0   | 36, 39            | 12   | 8                               | 24               | 4÷8            | 3   |
| 4,5   | 42, 45            | 12   | 9                               | 27               | 4,5÷9          | 4   |
| 5,0   | 48, 52            | 15   | 10                              | 30               | 5÷10           | 5   |
| Глубина закрутки винтов, а = K <sub>p</sub> d |                   |  |                                 |                  |                |     |
| σ <sub>B</sub> , МПа                          | сталь, бронза     |  | чугун                           |                  | силумин        |     |
|   | K <sub>p</sub>    |  |                                 |                  |                |     |
| 400-500                                       | 0,8 – 0,9         |  | 1,3 – 1,4                       |                  | 1,4 – 2,0      |     |
| 900-1000                                      | 1,6 – 2,0         |  | 2,0 – 2,5                       |                  | 2,0 – 2,5      |     |

\*) Позволяют определять параметры резьбового соединения в шагах резьбы.

Запас резьбы, глубины сверления и выход конца винта из гайки для метрической резьбы, (мм) (значения эмпирические\*)

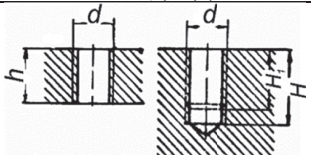


| Шаг резьбы, P | $\geq L=L_1$ | $\geq L_2$ | $\geq L_3$ | a             | Шаг резьбы, P | $\geq L=L_1$ | $\geq L_2$ | $\geq L_3$ | a           |
|---------------|--------------|------------|------------|---------------|---------------|--------------|------------|------------|-------------|
| 0,2           | 1            | 1          | 2          | от 0,4 до 1   | 1,5           | 4,5          | 3          | 9          | от 2 до 3   |
| 0,25          |              |            |            |               | 1,75          | 5,5          | 3,5        | 11         |             |
| 0,3           | 1,5          |            | 2,5        |               | 2             | 6            | 4          | 12         | от 2,5 до 4 |
| 0,35 0,4      |              |            |            |               | 2,5           | 7            | 5          | 15         |             |
| 0,45          | 2            |            | 3          | от 0,5 до 1,5 | 3             | 8            | 6          | 18         | от 3 до 5   |
| 0,5           |              |            |            |               | 3,5           | 9            | 7          | 21         |             |
| 0,6           | 2,5          | 1,5        | 4          | от 1 до 2     | 4             | 10           | 8          | 24         | от 4 до 7   |
| 0,7           |              |            |            |               | 4,5           | 11           | 9          | 27         |             |
| 0,75          |              |            | 5          |               | 5             | 13           | 10         | 30         | от 6 до 10  |
| 0,8           |              |            |            |               | 5,5           | 16           | 11         | 33         |             |
| 1             | 3,5          | 2          | 6          | от 1,5 до 2,5 | 5,5           | 16           | 11         | 33         |             |
| 1,25          | 4            | 2,5        | 8          |               | 6             | 18           | 12         | 36         |             |

**Примечания:**  
 1.  $L = L_1$  – запас резьбы наружной;  $L_2$  – запас резьбы внутренней; a – выход болта из гайки.  
 2. Глубина завинчивания в сталь, бронзу  $\geq d$ , в чугун  $\geq 1,25d$ .  
 \*) Позволяют определять параметры резьбового соединения в шагах резьбы.

Таблица 7.76

Глубина сверления под болты, (мм) (значения эмпирические)

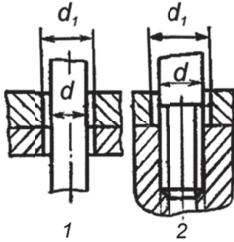
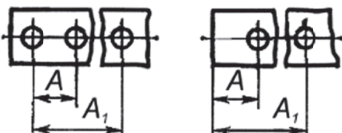
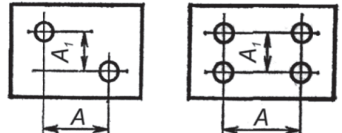
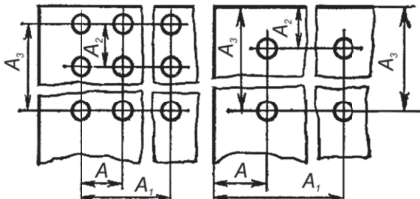



| d  | Сталь и бронза |      |                | Чугун |      |                | Алюминий |     |                |
|----|----------------|------|----------------|-------|------|----------------|----------|-----|----------------|
|    | h              | H    | H <sub>1</sub> | h     | H    | H <sub>1</sub> | h        | H   | H <sub>1</sub> |
| 6  | 8              | 8    | 6              | 12    | 12   | 10             | 22       | 22  | 19             |
| 8  | 10             | 10,5 | 8              | 15    | 14,5 | 12             | 26       | 26  | 22             |
| 10 | 12             | 13   | 10             | 18    | 18   | 15             | 35       | 34  | 28             |
| 12 | 15             | 15,5 | 12             | 22    | 21,5 | 18             | 38       | 38  | 33             |
| 14 | 18             | 18   | 14             | 24    | 24   | 20             | 42       | 42  | 37             |
| 16 | 20             | 20   | 16             | 26    | 26   | 22             | 50       | 49  | 42             |
| 18 | 22             | 23   | 18             | 29    | 30   | 25             | 55       | 54  | 46             |
| 20 | 24             | 25   | 20             | 32    | 33   | 28             | 60       | 60  | 52             |
| 22 | 27             | 27   | 22             | 36    | 36   | 31             | 65       | 67  | 58             |
| 24 | 30             | 30   | 24             | 42    | 41   | 35             | 75       | 75  | 65             |
| 27 | 32             | 33   | 27             | 45    | 44   | 38             | 80       | 80  | 70             |
| 30 | 35             | 37   | 30             | 48    | 49   | 42             | 90       | 90  | 78             |
| 36 | 42             | 44   | 36             | 56    | 58   | 50             | 105      | 105 | 90             |
| 42 | 48             | 51   | 42             | 64    | 67   | 58             | 115      | 120 | 105            |
| 48 | 55             | 58   | 48             | 72    | 75   | 65             | 130      | 135 | 120            |

**Примечание.** H<sub>1</sub> – нормальная глубина завинчивания шпилек и винтов; H – наименьшая глубина сверления.



Ряды размеров сквозных отверстий под крепежные детали по ГОСТ 11284-75

| Тип соединений   |                              |                |                         |
|--|--|----------------|-------------------------|
| Расположение отверстий   | Способ образования отверстий   | Тип соединения | Ряд сквозных отверстий* |
| Любой  | По кондуктору  | 1 или 2        | 1-й                     |
| В один ряд; координированы относительно оси отверстия или базовой плоскости<br>             | Пробивка штампами повышенной плоскости, литьем под давлением и по выплавляемым моделям повышенной точности     | 1              | 1                       |
| В два ряда (до четырех отверстий); координированы относительно их осей<br>                 | По разметке, пробивка штампами обычной точности, литьем нормальной точности                                    | 1              | 2                       |
| В два ряда и более; координированы относительно осей отверстий или базовых плоскостей<br> | Пробивка штампами повышенной точности литьем под давлением, литьем по выплавляемым моделям повышенной точности | 1 или 2        | 2                       |
| По окружности<br>   | По разметке, пробивка штампами обычной точности, литьем нормальной точности                                    | 1              | 3                       |

Примечание. \*Размеры сквозных отверстий по рядам 1, 2 и 3 в табл. 7.78.

Размеры сквозных отверстий под болты, шпильки, винты по ГОСТ 11284-75

| Диаметры крепежных деталей, d | Диаметр сквозных отверстий, d <sub>1</sub> |         |         | Диаметры крепежных деталей, d | Диаметр сквозных отверстий, d <sub>1</sub> |         |         | Диаметры крепежных деталей, d | Диаметр сквозных отверстий, d <sub>1</sub> |         |         |
|-------------------------------|--|---------|---------|-------------------------------|--|---------|---------|-------------------------------|--|---------|---------|
|                               | 1-й ряд                                    | 2-й ряд | 3-й ряд |                               | 1-й ряд                                    | 2-й ряд | 3-й ряд |                               | 1-й ряд                                    | 2-й ряд | 3-й ряд |
| 1                             | 1,2  | 1,3     | –       | 18                            | 19   | 20      | 21      | 72                            | 74   | 78      | 82      |
| 1,2                           | 1,4  | 1,5     | –       | 20                            | 21   | 22      | 24      | 76                            | 78   | 82      | 86      |
| 1,4                           | 1,6  | 1,7     | –       | 22                            | 23   | 24      | 26      | 80                            | 82   | 86      | 91      |
| 1,6                           | 1,7  | 1,8     | 2       | 24                            | 25   | 26      | 28      | 85                            | 87   | 91      | 96      |
| 2                             | 2,2  | 2,4     | 2,6     | 27                            | 28   | 30      | 32      | 90                            | 93   | 96      | 101     |
| 2,5                           | 2,7  | 2,9     | 3,1     | 30                            | 31   | 33      | 35      | 95                            | 98   | 101     | 107     |
| 3                             | 3,2  | 3,4     | 3,6     | 33                            | 34   | 36      | 38      | 100                           | 104  | 107     | 112     |
| 4                             | 4,3  | 4,5     | 4,8     | 36                            | 37   | 39      | 42      | 105                           | 109  | 112     | 117     |
| 5                             | 5,3  | 5,5     | 5,8     | 39                            | 40   | 42      | 45      | 110                           | 114  | 117     | 122     |
| 6                             | 6,4  | 6,6     | 7       | 42                            | 43   | 45      | 48      | 115                           | 119  | 122     | 127     |
| 7                             | 7,4  | 7,6     | 8       | 45                            | 46   | 48      | 52      | 120                           | 124  | 127     | 132     |
| 8                             | 8,4  | 9       | 10      | 48                            | 50   | 52      | 56      | 125                           | 129  | 132     | 137     |
| 9                             | 9,4  | 10      | 10,5    | 52                            | 54   | 56      | 62      | 130                           | 134  | 137     | 144     |
| 10                            | 10,5                                       | 11      | 12      | 56                            | 58   | 62      | 66      | 140                           | 144  | 147     | 155     |
| 12                            | 13   | 14      | 15      | 60                            | 62   | 66      | 70      | 150                           | 155  | 158     | 165     |
| 14                            | 15   | 16      | 17      | 64                            | 66   | 70      | 74      | 160                           | 165  | 168     | 175     |
| 16                            | 17   | 18      | 19      | 68                            | 70   | 74      | 78      |                               |  |         |         |

**Примечания:**

1. Для сверления под шпильку диаметр сверла принимается равным номинальному диаметру шпильки.

2. В графе «1-й ряд» указаны диаметры сверл для точной механики и приборостроения (класс точности – «точный»), в графе «2-й ряд» – для машиностроения, станкостроения и т. д. (класс точности – «средний»), в графе «3-й ряд» указаны диаметры сверл как для машиностроения, так и для других отраслей промышленности (класс точности – «грубый»).

**7.6.4. ДОПУСКИ РАСПОЛОЖЕНИЯ ОСЕЙ ОТВЕРСТИЙ ПО ГОСТ 14140**

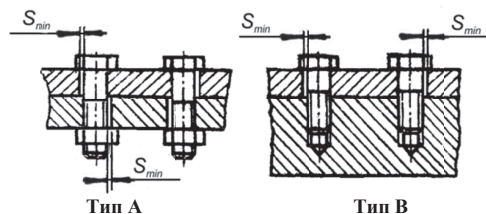
Допуски распространяются на детали машин и приборов, которые соединяются болтами, винтами, шпильками и другими крепежными деталями, у которых оси отверстий для крепежных деталей расположены параллельно.

Допуски не распространяются на детали, к которым не предъявляются требования взаимозаменяемости. Собираемость их обеспечивают совместной обработкой отверстий в паре с соединяемыми деталями.

**Выбор допусков расположения осей отверстий для крепежных деталей.** Допуски расположения осей отверстий для крепежных деталей назначают в зависимости от типа соединения крепежных деталей, зазора прохода крепежных деталей и коэффициента использования этого зазора для компенсации отклонений расположения осей. Соединения крепежными деталями подразделяют на типы А и В (рис. 7.17).

При соединении по типу А в соединяемых деталях между отверстиями и проходящими сквозь них крепежными деталями предусмотрены гарантированные (наименьшие) зазоры  $S_{min}$  (рис. 7.17, а). К типу А относят, например, соединения болтами, заклепками.

При соединении по типу В гарантированные наименьшие зазоры  $S_{min}$  предусматриваются только в отверстиях более легкой по весу из соединяемых деталей (например, в крышке), а в корпусной, более массивной детали в отверстиях нарезается резьба для ввинчивания шпилек (рис. 7.17, б), поэтому гарантированных зазоров в них нет. К типу В относят, например, соединения винтами, шпильками.



**Рис. 7.17.** Зависимость допуска расположения между осями отверстий от зазоров при соединении деталей по типу А и по типу В

Следовательно, при соединении крепежных деталей по типу А оси отверстий, выполняемых на проход, могут быть смещены от их номинального расположения в пределах гарантированных зазоров в отверстиях в крышке и в корпусе.

При соединении крепежных деталей по типу В оси отверстий могут быть смещены только в пределах величины зазоров в крышке.

Следовательно, допуск смещения (позиционный допуск) осей отверстий в деталях, соединяемых по типу В, вдвое меньше, чем в деталях, соединяемых по типу А.

Значит, для соединения типа А допуск расположения осей будет равен

$$T_A = K \cdot S_{min}$$

а для соединения типа В

$$T_B = 0,5K \cdot S_{min},$$

где  $S_{min} = D_{min} - d_{max}$  – наименьший зазор между сквозным гладким отверстием и крепежной деталью;

$D_{min}$  – наименьший предельный диаметр сквозного отверстия;

$d_{max}$  – наибольший предельный диаметр стержня крепежной детали;

$K$  – коэффициент использования зазора для компенсации отклонения расположения осей отверстий при сборке.

Если  $K = 1 \div 0,8$ , то соединяемые детали не требуют регулировки взаимного расположения. При  $K = 1$  получим  $T_A = S_{min}$  и  $T_B = 0,5S_{min}$ .

При  $K = 0,8 \div 0,6$  – для соединений крепежных деталей необходима регулировка взаимного расположения.

При проектировании предпочтительно принимать  $K=0,6$ . В обоснованных случаях можно принимать значения  $K \leq 0,6$ .

Допуски расположения осей отверстий для крепежных деталей установлены ГОСТ 14140–81 и могут назначаться двумя способами:

*позиционными допусками*, т.е. указанием предельного смещения осей отверстий от их номинального расположения;

*предельными отклонениями размеров*, координирующих положение осей отверстий. При этом способе координирование может быть назначено как в прямоугольных (рис. 7.18, а), так и в полярных координатах (рис. 7.18, б).

Допуски расположения осей сквозных гладких отверстий в соединениях типов А и В рекомендуется назначать зависимыми в том случае, если их применение независимых допусков не приводит к нарушению прочности детали или к нарушению требований к внешнему виду детали.

Допуски расположения осей резьбовых отверстий в соединениях типа В рекомендуют назначать зависимыми для ма- лонагруженных винтов и независимыми для шпилек и тяжелоагруженных винтов.

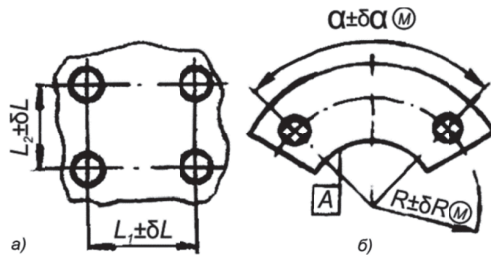


Рис. 7.18. Расположение осей отверстий:

а – в прямоугольных координатах; б – в полярных координатах

При зависимых допусках расположения осей резьбовых отверстий минимальное значение допуска расположения может быть превышено на величину, соответствующую отклонению действительного предельного среднего диаметра внутренней резьбы от наименьшего предельного среднего диаметра.

Для отверстий, образующих одну сборочную группу при числе элементов более двух, предпочтительней назначать позиционные допуски их осей.

Значения позиционных допусков в диаметральном выражении  $T$  и в радиусном выражении  $T/2$  должны соответствовать указанным в табл. 7.79.

Т а б л и ц а 7.79

Значения позиционных допусков в диаметральном выражении  $T$  и в радиусном выражении  $T/2$

|      |       |       |      |       |      |      |      |      |      |     |
|------|-------|-------|------|-------|------|------|------|------|------|-----|
| 0,01 | 0,012 | 0,016 | 0,02 | 0,025 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,08 | 0,1 |
| 0,12 | 0,12  | 0,2   | 0,25 | 0,3   | 0,4  | 0,5  | 0,6  | 0,8  | 1    | 1,2 |
| 1,6  | 2     | 2,5   | 3    | 4     | 5    | 6    | 8    | 10   | 12   | 16  |

Пересчет позиционных допусков на предельные отклонения размеров, координирующих оси отверстий в зависимости от характера расположения отверстий в системе прямоугольных координат, приведен в табл. 7.82, а для размеров в системе полярных координат – в табл. 7.83 и 7.84.

**Выбор позиционных допусков для осей отверстий.** Значения позиционных допусков для осей отверстий в диаметральном выражении  $T$  приведены в табл. 7.80 для соединений типа А и в табл. 7.81 – для соединений типа В.

Для получения позиционных допусков в радиусном выражении  $T/2$  числовые значения в табл. 7.80 и 7.81 должны быть уменьшены вдвое с последующим округлением результата до ближайшего числа из табл. 7.79.

Позиционные допуски предпочтительней назначать в диаметральном выражении.

Позиционные допуски осей отверстий, приведенные в табл. 7.80 и 7.81, установлены одинаковыми для обеих соединяемых деталей.

Т а б л и ц а 7.80

Значения позиционных допусков осей отверстий для соединений типа А в диаметральном выражении

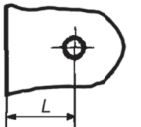
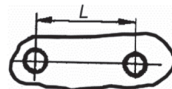
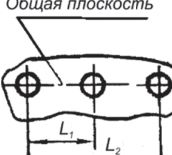
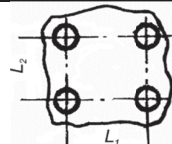
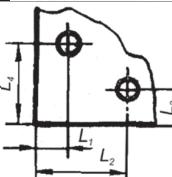
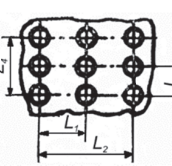
| Диаметр резьбы | Диаметр сверления на проход | Наименьший зазор $S_{min}$ | Позиционные допуски $T$ , мм при коэффициенте использования зазора $K$ |     |      |
|----------------|-----------------------------|----------------------------|--|-----|------|
|                |                             |                            | 1  | 0,8 | 0,6  |
| M3             | 3,4                         | 0,4                        | 0,4  | 0,3 | 0,25 |
| M4             | 4,5                         | 0,5                        | 0,5  | 0,4 | 0,3  |
| M5             | 5,5                         | 0,5                        | 0,5  | 0,4 | 0,3  |
| M6             | 6,5                         | 0,6                        | 0,6  | 0,5 | 0,4  |
| M8             | 9                           | 1                          | 1  | 0,8 | 0,6  |
| M10            | 11                          | 1                          | 1  | 0,8 | 0,6  |
| M12            | 14                          | 2                          | 2  | 1,6 | 1,2  |
| M16            | 18                          | 2                          | 2  | 1,6 | 1,2  |
| M20            | 22                          | 2                          | 2  | 1,6 | 1,2  |
| M24            | 26                          | 2                          | 2  | 1,6 | 1,2  |
| M30            | 33                          | 3                          | 3  | 2,5 | 1,6  |
| M36            | 39                          | 3                          | 3  | 2,5 | 1,6  |

Значения позиционных допусков осей отверстий для соединений типа В в диаметральном выражении

| Диаметр резьбы | Диаметр сверления на проход | Наименьший зазор $S_{\min}$ | Позиционные допуски Т, мм при коэффициенте использования зазора К |      |      |
|----------------|-----------------------------|-----------------------------|---|------|------|
|                |                             |                             | 1   | 0,8  | 0,6  |
| M3             | 3,4                         | 0,4                         | 0,2   | 0,16 | 0,12 |
| M4             | 4,5                         | 0,5                         | 0,25  | 0,2  | 0,16 |
| M5             | 5,5                         | 0,5                         | 0,25  | 0,2  | 0,16 |
| M6             | 6,5                         | 0,6                         | 0,3   | 0,25 | 0,2  |
| M8             | 9                           | 1                           | 0,5   | 0,4  | 0,3  |
| M10            | 11                          | 1                           | 0,5   | 0,4  | 0,3  |
| M12            | 14                          | 2                           | 1   | 0,8  | 0,6  |
| M16            | 18                          | 2                           | 1   | 0,8  | 0,6  |
| M20            | 22                          | 2                           | 1   | 0,8  | 0,6  |
| M24            | 26                          | 2                           | 1   | 0,8  | 0,6  |
| M30            | 33                          | 3                           | 1,6   | 1,2  | 1    |
| M36            | 39                          | 3                           | 1,6   | 1,2  | 1    |

Таблица 7.82

Пересчет позиционных допусков на предельные отклонения размеров, координирующих оси отверстий, в систему прямоугольных координат

| Эскиз   | Отклонение в системе прямоугольных координат | Позиционный допуск в диаметральном выражении Т |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |     |     |     |
|---|--|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|-----|-----|-----|
|   |  | 0,12   | 0,16 | 0,2  | 0,25 | 0,3  | 0,4  | 0,5  | 0,6  | 0,8  | 1    | 1,2 | 1,6  | 2   | 2,5 | 3   |
|   |  | Позиционный допуск в радиусном выражении Т/2   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |     |     |     |
|   |  | 0,06   | 0,08 | 0,1  | 0,12 | 0,16 | 0,2  | 0,25 | 0,3  | 0,4  | 0,5  | 0,6 | 0,8  | 1   | 1,2 | 1,6 |
| Допуски в системе прямоугольных координат   |  |  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |     |     |     |
|    | $\pm\delta L$                                | 0,06   | 0,08 | 0,1  | 0,12 | 0,16 | 0,2  | 0,25 | 0,3  | 0,4  | 0,5  | 0,6 | 0,8  | 1   | 1,2 | 1,6 |
|   | $\pm\delta L$                                | 0,12   | 0,16 | 0,2  | 0,25 | 0,3  | 0,4  | 0,5  | 0,6  | 0,8  | 1    | 1,2 | 1,6  | 2   | 2,5 | 3   |
|  | $\pm\delta L_{\Sigma}^*$                     | 0,08   | 0,11 | 0,14 | 0,16 | 0,22 | 0,28 | 0,35 | 0,4  | 0,55 | 0,7  | 0,8 | 1,1  | 1,4 | 1,6 | 2,2 |
|   | $\pm\delta_y^{**}$                           | 0,04   | 0,05 | 0,7  | 0,08 | 0,11 | 0,14 | 0,16 | 0,22 | 0,28 | 0,35 | 0,4 | 0,55 | 0,7 | 0,8 | 1,1 |
|  | $\pm\delta L$ для $L_1$ и $L_2$              | 0,08   | 0,1  | 0,12 | 0,16 | 0,2  | 0,25 | 0,3  | 0,4  | 0,5  | 0,6  | 0,8 | 1    | 1,2 | 1,6 | 2,2 |
|   | $\pm\delta L_d^{***}$                        | 0,12   | 0,16 | 0,2  | 0,28 | 0,3  | 0,4  | 0,5  | 0,6  | 0,8  | 1    | 1,2 | 1,6  | 2   | 2,5 | 3   |
|  | $\pm\delta L$ для $L_1 + L_4$                | 0,04   | 0,05 | 0,7  | 0,08 | 0,11 | 0,14 | 0,16 | 0,22 | 0,28 | 0,35 | 0,4 | 0,55 | 0,7 | 0,8 | 1,1 |
|  | $\pm\delta L$ для $L_1 + L_4$                | 0,04   | 0,05 | 0,7  | 0,08 | 0,11 | 0,14 | 0,16 | 0,22 | 0,28 | 0,35 | 0,4 | 0,55 | 0,7 | 0,8 | 1,1 |
|   | $\pm\delta L_d^{***}$                        | 0,12   | 0,16 | 0,2  | 0,25 | 0,3  | 0,4  | 0,5  | 0,6  | 0,8  | 1    | 1,2 | 1,6  | 2   | 2,5 | 3   |


## Примечания:

\*)  $\pm\delta L_{\Sigma}$  — допускается вместо предельных отклонений размера между осями двух любых отверстий применять предельные отклонения размеров между осью одного (базового) отверстия или базовой плоскостью и осями каждого из остальных отверстий ( $L_1, L_2 \dots L_n$ ); при этом значение предельного отклонения, указанного в таблице, следует уменьшить вдвое.

\*\*)  $\pm\delta_y$  — предельные отклонения размеров осей отверстий от общей плоскости.

\*\*\*)  $\pm\delta L_d$  — предельные отклонения размеров по диагонали между осями двух любых отверстий.

Характеристика отверстий, расположенных по окружности, и обозначения предельных отклонений размеров

|  |   |  |
|--|---|--|
| Два отверстия, координированные относительно друг друга и центрально-го базового элемента А  | Три и более отверстий, расположенных по окружности  | Три и более отверстий, расположенных по окружности, координированных относительно центрального базового элемента А   |
|   |    |   |
| База – поверхность А   |   | База – поверхность А   |
| Обозначения нормируемых предельных отклонений размеров   |   |  |
| Предельные отклонения $\pm\delta R$ радиуса окружности центров.<br>Предельные отклонения $\pm\delta\alpha$ угла между осями отверстий  | Предельные отклонения $\pm\delta D$ диаметра окружности центров.<br>Предельные отклонения $\pm\delta\alpha_2$ центрального угла между осями двух любых отверстий* | Предельные отклонения $\pm\delta R$ радиуса окружности центров.<br>Предельные отклонения $\pm\delta\alpha_2$ центрального угла между осями двух любых отверстий* |
| Примечание. * Допускается вместо предельных отклонений $\pm\delta\alpha_2$ центрального угла между осями двух любых отверстий нормировать предельные отклонения центральных углов между осью одного (базового) отверстия и осями каждого из остальных отверстий ( $\alpha_i$ ; $\alpha_j$ и т.д.). При этом предельные отклонения, указанные в таблице, следует уменьшить вдвое. |   |  |

Пересчет позиционных допусков на предельные отклонения размеров, координирующих оси отверстий, расположенных по окружности, в систему прямоугольных координат

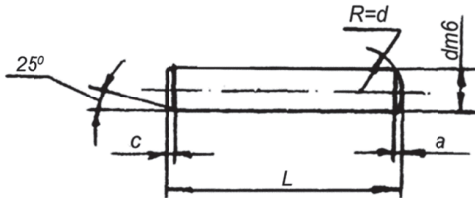
| Интервалы номинальных размеров |      |        |      | Позиционный допуск в диаметральном выражении T |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
|--------------------------------|------|--------|------|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--|
|                                |      |        |      | 0,12   | 0,16   | 0,2    | 0,25   | 0,3    | 0,4    | 0,5    | 0,6    | 0,8    | 1      | 1,2    | 1,6    | 2      | 2,5    | 3      |  |
|                                |      |        |      | Позиционный допуск в радиусном выражении T/2   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
|                                |      |        |      | 0,06   | 0,08   | 0,1    | 0,12   | 0,16   | 0,2    | 0,25   | 0,3    | 0,4    | 0,5    | 0,6    | 0,8    | 1      | 1,2    | 1,6    |  |
|                                |      |        |      | $\pm\delta D$                                  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
|                                |      |        |      | $\pm\delta R$                                  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| диаметр                        |      | радиус |      | $\pm\delta\alpha$ и $\pm\delta\alpha_2$        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| D                              |      | R      |      | 0,02   | 0,03   | 0,035  | 0,04   | 0,05   | 0,7    | 0,08   | 0,11   | 0,14   | 0,16   | 0,22   | 0,28   | 0,35   | 0,4    | 0,55   |  |
| от                             | до   | от     | до   | 35'  | 50'    | 1°     | 1° 40' | 2°     | 2° 30' | 3°     | 4°     |        |        |        |        |        |        |        |  |
| 6                              | 10   | 3      | 5    | 35'  | 50'    | 1°     | 1° 40' | 2°     | 2° 30' | 3°     | 4°     |        |        |        |        |        |        |        |  |
| 10                             | 14   | 5      | 7    | 25'  | 30'    | 40'    | 50'    | 1°     | 1° 20' | 1° 40' | 2°     | 2° 20' | 3°     | 3° 40' | 4° 30' |        |        |        |  |
| 14                             | 18   | 7      | 9    | 18'  | 25'    | 30'    | 35'    | 45'    | 1°     | 1° 10' | 1° 30' | 2°     | 2° 20' | 3°     | 4°     |        |        |        |  |
| 18                             | 24   | 9      | 12   | 14'  | 18'    | 22'    | 28'    | 35'    | 45'    | 55'    | 1° 10' | 1° 30' | 1° 50' | 2° 20' | 3°     | 3° 40' | 4° 30' |        |  |
| 30                             | 40   | 15     | 20   | 8'   | 11'    | 14'    | 16'    | 22'    | 28'    | 35'    | 45'    | 55'    | 1° 40' | 1° 20' | 1° 50' | 2° 20' | 2° 40' | 3° 40' |  |
| 40                             | 50   | 20     | 25   | 6'   | 8'     | 10'    | 12'    | 16'    | 20'    | 25'    | 30'    | 40'    | 50'    | 1°     | 1° 20' | 1° 40' | 2°     | 2° 40' |  |
| 50                             | 65   | 25     | 32   | 5'   | 6'     | 8'     | 10'    | 12'    | 16'    | 20'    | 25'    | 30'    | 40'    | 50'    | 1°     | 1° 20' | 1° 40' | 2°     |  |
| 65                             | 80   | 32     | 40   | 4'   | 5'     | 6'     | 8'     | 10'    | 12'    | 16'    | 20'    | 25'    | 30'    | 40'    | 50'    | 1°     | 1° 20' | 1° 40' |  |
| 80                             | 100  | 40     | 50   | 3'   | 4'     | 5'     | 6'     | 8'     | 10'    | 12'    | 16'    | 20'    | 25'    | 30'    | 40'    | 50'    | 1°     | 1° 20' |  |
| 100                            | 120  | 50     | 60   | 2° 40'   | 3'     | 4'     | 5'     | 6'     | 8'     | 10'    | 12'    | 16'    | 20'    | 25'    | 30'    | 40'    | 50'    | 1°     |  |
| 120                            | 150  | 60     | 75   | 2'   | 2' 30' | 3' 30' | 4' 30' | 6'     | 7'     | 9'     | 12'    | 14'    | 18'    | 22'    | 30'    | 35'    | 45'    | 55'    |  |
| 150                            | 180  | 75     | 90   | -  | 2'     | 3'     | 4'     | 5'     | 6'     | 7'     | 8'     | 9'     | 12'    | 14'    | 18'    | 22'    | 30'    | 45'    |  |
| 180                            | 250  | 90     | 125  | -  | -      | 2'     | 2' 30' | 3' 30' | 4' 30' | 6'     | 7'     | 9'     | 12'    | 14'    | 18'    | 22'    | 28'    | 35'    |  |
| 250                            | 310  | 125    | 155  | -  | -      | -      | 2'     | 2' 30' | 3' 30' | 4' 30' | 6'     | 7'     | 9'     | 12'    | 14'    | 16'    | 20'    | 25'    |  |
| 310                            | 400  | 155    | 200  | -  | -      | -      | -      | 2'     | 2' 30' | 3' 30' | 4' 30' | 5'     | 6'     | 8'     | 10'    | 12'    | 16'    | 20'    |  |
| 400                            | 500  | 200    | 250  | -  | -      | -      | -      | -      | 2'     | 2' 30' | 3' 30' | 4' 30' | 5'     | 6'     | 8'     | 10'    | 12'    | 16'    |  |
| 500                            | 630  | 250    | 315  | -  | -      | -      | -      | -      | -      | 2'     | 2' 30' | 3' 30' | 4' 30' | 5'     | 6'     | 8'     | 10'    | 12'    |  |
| 630                            | 800  | 315    | 400  | -  | -      | -      | -      | -      | -      | -      | 2'     | 2' 30' | 3' 30' | 4' 30' | 5'     | 7'     | 8'     | 11'    |  |
| 800                            | 1000 | 400    | 500  | -  | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | 2'     | 2' 30' | 3'     | 4'     | 6'     | 7'     | 9'     |  |
| 1000                           | 1250 | 500    | 625  | -  | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | 2'     | 2' 30' | 3'     | 4'     | 5'     | 6'     |  |
| 1250                           | 1600 | 525    | 800  | -  | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | 2'     | 2' 30' | 3'     | 4'     | 5'     |  |
| 1600                           | 2000 | 800    | 1000 | -  | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | 2'     | 2' 30' | 3'     | 4'     |  |



7.7. ШТИФТЫ И ШТИФТОВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ, ММ

Таблица 7.85

Штифты цилиндрические по ГОСТ 3128 – 70



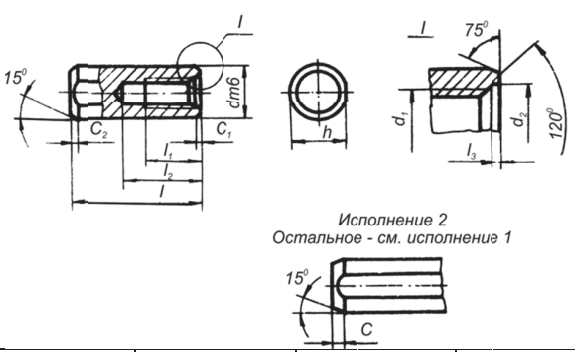
|   |                      |                  |                  |        |                  |        |                  |        |                  |        |
|---|----------------------|------------------|------------------|--------|------------------|--------|------------------|--------|------------------|--------|
| d | Номинал              | 3                | 4                | 5      | 6                | 8      | 10               | 12     | 16               | 20     |
|   | Пред откл.           | +0,008<br>+0,002 | +0,012<br>+0,004 |        | +0,015<br>+0,006 |        | +0,018<br>+0,007 |        | +0,021<br>+0,008 |        |
|   | a                    | 0,4              | 0,5              | 0,63   | 0,8              | 1,0    | 1,2              | 1,6    | 2,0              | 2,5    |
|   | c                    | 0,5              | 0,63             | 0,8    | 1,2              | 1,6    | 2,0              | 2,5    | 3,0              | 3,5    |
|   | L j <sub>6</sub> /15 | 6÷60             | 8÷80             | 10÷100 | 15÷120           | 16÷120 | 20÷120           | 24÷120 | 30÷120           | 35÷120 |

**Примечания:**  
 1. Размер L в указанных пределах брать из следующего ряда чисел: 6, 8, 10, 12, 14, 16, 20, 24, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 70, 80, 90, 100, 120.  
 2. Твердость не менее 145 НВ.  
 3. Посадка с гарантированным натягом K7/m6; переходная – H7/m6.

Таблица 7.86

Штифты цилиндрические по ГОСТ 12207 – 79

Исполнение 1



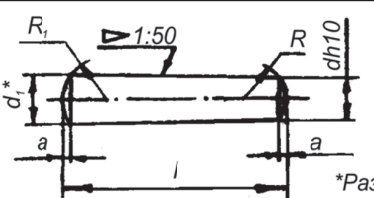
|   |                |                  |                |        |                  |        |                  |
|---|----------------|------------------|----------------|--------|------------------|--------|------------------|
| d | Номинал        | 6                | 8              | 10     | 12               | 16     | 20               |
|   | Пред откл.     | +0,012<br>+0,004 | 0,015<br>0,006 |        | +0,018<br>+0,007 |        | +0,021<br>+0,008 |
|   | d <sub>1</sub> | M4               | M5             | M6     |                  | M8     | M10              |
|   | d <sub>2</sub> | 4,3              | 5,3            | 6,4    |                  | 8,4    | 10,5             |
|   | C              | 2,1              | 2,6            | 3      | 3,8              | 4,6    | 6                |
|   | C <sub>1</sub> | 0,8              | 1              | 1,2    | 1,6              | 2      | 2,5              |
|   | C <sub>2</sub> | 1,2              | 1,6            | 2      | 2,5              | 3      | 3,5              |
|   | l <sub>1</sub> | 6                | 8              | 10     | 12               | 16     | 18               |
|   | l <sub>2</sub> | 10               | 12             | 16     | 20               | 25     | 28               |
|   | l <sub>3</sub> | 1                | 1,2            |        | 1,5              |        |                  |
|   | h              | 5,5              | 7,5            | 9,5    | 11,5             | 15,5   | 19               |
|   | l              | 16÷60            | 20÷80          | 24÷100 | 30÷120           | 30÷120 | 45÷120           |

**Исполнение 2**  
 Остальное - см. исполнение 1

**Примечание.** Размер L в указанных пределах брать из следующего ряда чисел: 16, 20, 24, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 70, 80, 90, 100, 120.

Таблица 7.87

Штифты конические по ГОСТ 3129 – 70



$R \approx a$   
 $R_1 \approx a_1$   
 $a_1 = a + \frac{l}{50}$

\*Размер для справок

|   |       |       |       |       |        |        |        |        |        |        |
|---|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| d | 2,5   | 3     | 4     | 5     | 6      | 8      | 10     | 12     | 16     | 20     |
| a | 0,3   | 0,4   | 0,5   | 0,63  | 0,8    | 1,0    | 1,2    | 1,6    | 2,0    | 2,5    |
| l | 12÷45 | 16÷60 | 16÷70 | 16÷90 | 20÷100 | 24÷120 | 30÷120 | 35÷120 | 40÷120 | 50÷120 |

**Примечание.** Размер L в указанных пределах брать из следующего ряда чисел: 12, 14, 16, 20, 24, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 70, 80, 90, 100, 120.

Штифты конические по ГОСТ 9464 – 79

|                           |             |       |        |        |        |        |        |        |        |        |
|---------------------------|-------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| d                         | 6           | 8     | 10     | 12     | 16     | 20     | 25     | 30     | 40     | 50     |
| d <sub>1</sub> 6H         | M4          | M5    | M6     | M8     | M10    | M12    | M16    | M20    |        | M24    |
| d <sub>2</sub>            | 4,3         | 5,3   | 6,4    | 8,4    | 10,5   | 13     | 17     | 21     |        | 25     |
| l <sub>1</sub> , не менее | 10          | 12    | 16     | 20     | 25     | 28     | 35     | 40     |        | 50     |
| l <sub>2</sub>            | номин.      | 6     | 8      | 10     | 12     | 16     | 18     | 24     |        | 30     |
|                           | пред. откл. | +1,4  | +1,6   | +2     | +2,5   | +3     | +3,5   | +4     |        | +5     |
| l <sub>3</sub>            | 1,0         | 1,2   |        | 1,5    |        |        | 2,0    | 2,5    |        |        |
| A                         | 0,8         | 1,0   | 1,2    | 1,6    | 2,0    | 2,5    | 3,0    | 4,0    | 5,0    | 6,3    |
| C                         | 1,0         | 1,2   | 1,6    |        | 2,0    | 2,5    | 3,0    | 4,0    | 5,0    |        |
| l                         | 24÷60       | 24÷80 | 24÷100 | 30÷120 | 35÷160 | 40÷200 | 50÷200 | 60÷200 | 80÷280 | 90÷280 |

*Примечание.* Размер L в указанных пределах брать из следующего ряда чисел: 24, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 140, 160, 180, 200, 220, 250, 280.

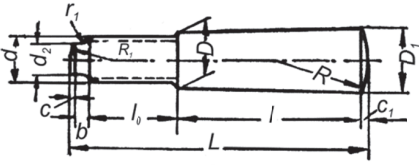
Таблица 7.89

Штифты конические по ГОСТ 9465 – 79

|                |          |       |        |        |
|----------------|----------|-------|--------|--------|
| d              | 6        | 8     | 10     | 12     |
| d <sub>t</sub> | M6       | M8    | M10    | M12    |
| b              | не более | 20    | 24,5   | 30,5   |
|                | не менее | 18    | 22     | 27     |
| a, не более    | 3        | 4     | 4,5    | 3,3    |
| d <sub>2</sub> | 4        | 5,5   | 7,0    | 8,5    |
| l <sub>1</sub> | 1,5      | 2,0   | 2,5    | 3,0    |
| l <sub>2</sub> | 0,7      | 1,0   |        | 1,2    |
| R              | 0,5      | 0,8   |        |        |
| R <sub>1</sub> | 0,4      |       | 0,5    | 0,6    |
| l              | 45÷60    | 55÷70 | 70÷100 | 80÷120 |

*Примечание.* Размер L в указанных пределах брать из следующего ряда чисел: 45, 50, 55, 60, 70, 80, 100, 120.

Штифты конические с концом под гайку



| d   | $l_0$ | $d_2$ | b   | $R_1$ | c   | $r_1$ | D  | $D_1$ | R  | $c_1$ | l   | L     |
|-----|-------|-------|-----|-------|-----|-------|----|-------|----|-------|-----|-------|
| M6  | 10    | 4     | 2,5 | 3     | 0,7 | 0,4   | 8  | 9,4   | 16 | 0,7   | 28  | 41,9  |
| M8  | 13    | 5,5   | 2,5 | 5     | 0,8 | 0,4   | 10 | 11,5  | 18 | 1     | 30  | 47,3  |
|     |       |       |     |       |     |       |    | 11,75 |    |       | 35  | 52,3  |
|     |       |       |     |       |     |       |    | 12    |    |       | 40  | 57,3  |
| M10 | 20    | 7     | 3   | 6     | 1   | 0,5   | 12 | 13,5  | 20 | 1,2   | 30  | 55,2  |
|     |       |       |     |       |     |       |    | 14    |    |       | 40  | 65,3  |
|     |       |       |     |       |     |       |    | 14,5  |    |       | 50  | 75,4  |
|     |       |       |     |       |     |       |    | 14,75 |    |       | 55  | 80,4  |
| M12 | 25    | 9     | 3   | 9     | 1,2 | 0,6   | 14 | 16,5  | 25 | 1,4   | 50  | 80,6  |
|     |       |       |     |       |     |       |    | 16,75 |    |       | 55  | 85,7  |
|     |       |       |     |       |     |       |    | 17    |    |       | 60  | 90,7  |
|     |       |       |     |       |     |       |    | 17,25 |    |       | 65  | 95,8  |
| M16 | 28    | 12    | 4   | 12    | 1,6 | 0,8   | 18 | 21,5  | 30 | 2     | 70  | 105,6 |
|     |       |       |     |       |     |       |    | 22    |    |       | 80  | 115,6 |
|     |       |       |     |       |     |       |    | 22,5  |    |       | 90  | 125,8 |
|     |       |       |     |       |     |       |    | 23    |    |       | 100 | 135,9 |

Штифтовые соединения состоят из деталей, соединяемых с применением штифтов.

Штифтовые соединения применяют для фиксации взаимного положения деталей (рис. 7.19, а, б, в, г), при передаче сравнительно небольших вращающих моментов (рис. 7.19, д, е). В качестве распространенного примера можно привести фиксацию двумя коническими штифтами взаимного положения корпуса и крышки редуктора (рис. 7.19, б), чем обеспечивается сохранение их взаимного положения при совместной механической обработке, сборке и разборке редуктора.

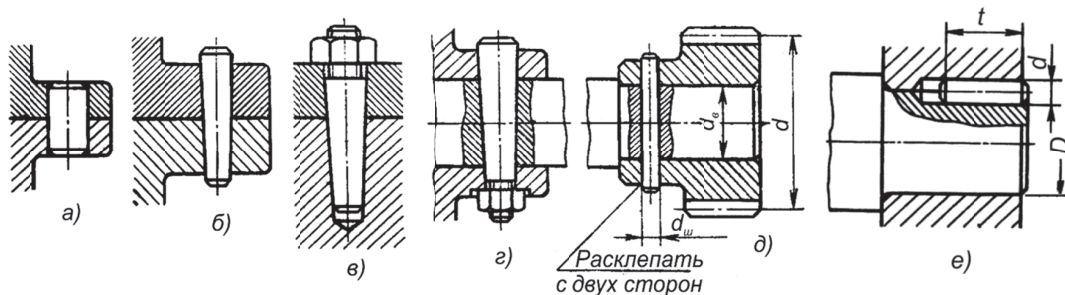


Рис. 7.19. Штифтовые соединения

Достоинства штифтовых соединений: их простота, технологичность и низкая стоимость. Недостаток некоторых штифтовых соединений – ослабление сечения вала отверстием и связанная с этим концентрация напряжений.

Основные типы стандартных штифтов представлены на рис. 7.19, а их типоразмеры в табл. 7.85 – 7.90. Кроме приведенных конструкций имеется много штифтов, которые находят применение в машиностроении, к ним относятся: конический и цилиндрический с насечкой на наружной поверхности, пружинный, штифты цилиндрические и конические с внутренней резьбой (резьба на штифтах служит либо для их закрепления, либо для извлечения из отверстия при разборке); штифты конические разводные, штифты цилиндрические закаленные и штифты цилиндрические заклепочные (эти штифты с канавками и их применяют вместо гвоздей или шурупов и др.).

Цилиндрические штифты обычно ставят на рабочее место с гарантированным натягом  $K7/m6$  или по переходной посадке  $H7/m6$ , а в движущихся соединениях – с расклепыванием концов (рис. 7.19, д).

Твердость незакаленных штифтов – не менее 145 НВ и закаленных – 58...62 HRC.

Конические штифты выполняют с конусностью  $1 : 50$ , обеспечивающей их самоторможение. Обыкновенные конические штифты (рис. 7.19, б) ставят при сквозных отверстиях, когда их можно выбивать с противоположной стороны. При глухих отверстиях ставят конические штифты с резьбой для вытаскивания (рис. 7.19, в). Конические с резьбой на конце (рис. 7.19, г) и разводные штифты ставят в соединениях, испытывающих динамические нагрузки, толчки и удары, а также в соединениях, движущихся с большой скоростью. После установки разводных штифтов на рабочее место концы их слегка разводят.

Штифты изготовляют из стали Ст4, Ст5, Сталь 35, 40 и 45. Просечные штифты рекомендуется изготовлять из пружинной стали (Сталь 65Г). При необходимости применяют штифты с термообработкой 45...65HRC. Шероховатость посадочной поверхности  $Ra = 0,8 \dots 0,4$  мкм. Для соединения пластмассовых деталей применяют штифты из пластмасс.

**Расчет конического штифта на прочность.** Диаметр установочного штифта принимают конструктивно. Диаметр крепежного штифта определяют из расчета штифта на срез.

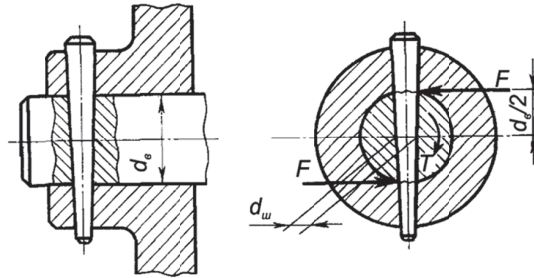


Рис. 7.20. Схема сил для расчета конического штифта

Средний диаметр штифта  $d_{ш}$  определяют из условия прочности на срез по двум плоскостям среза (рис. 7.20).

$$\text{Площадь среза } S_{cp} = 0,5\pi d_{ш}^2 = \frac{F}{[\tau]_{cp}}.$$

$$\text{Окружное усилие } F = \frac{2T}{d_B},$$

где  $T$  – вращающий момент.

$$\text{Диаметр штифта } d_{ш} = 1,13 \sqrt{\frac{F}{2[\tau_{cp}]}}.$$

При действии на штифт силы  $F$ , перпендикулярной его оси, условие прочности на срез

$$\tau_{cp} = \frac{2F}{\pi d^2} \leq [\tau_{cp}].$$

Допускаемое напряжение на срез для штифта, изготовленного из стали указанных марок,  $[\tau_{cp}] = 35 \dots 75$  МПа; меньшие значения – при нагрузке с толчками и ударами.

Цилиндрический штифт – шпонка. Диаметральное сечение штифта проверяется на срез, боковая поверхность – на смятие (рис. 7.21).

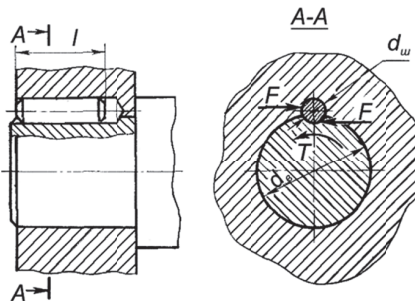


Рис. 7.21. Схема сил, действующих на цилиндрический штифт-шпонку

$$\text{Площадь смятия } S_{см} = 0,5ld_{ш}.$$

$$\text{Окружное усилие } F = \frac{2T}{d_B}.$$

$$\text{Прочность штифта на смятие } \sigma_{см} = \frac{4T}{d_B ld_{ш}} \leq [\sigma_{см}].$$

$$\text{Площадь среза } S_{cp} = ld_{ш}.$$

$$\text{Прочность штифта на срез } \tau_{cp} = \frac{2T}{d_B ld_{ш}} \leq [\tau_{cp}].$$

$$\text{Момент, передаваемый соединением } T \approx 0,5Ddl[\tau_{cp}].$$

$$T \approx 0,2Ddl[\sigma_{см}].$$

Допускаемые напряжения в зависимости от прочности материалов вала и ступицы и от режима работы. Допускаемые напряжения выбирают в пределах  $[\sigma_{см}] = 60 \dots 150$  МПа (меньшие значения выбирают для чугунных ступиц и при неравномерной и ударной нагрузке, а большие – для стальных ступиц).

**Расчет цилиндрического штифта на прочность.** Под действием сил  $F$  штифт испытывает напряжения среза (рис. 7. 22).

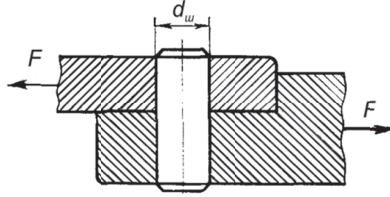


Рис. 7. 22. Схема сил для расчета нагрузки на цилиндрический штифт

$$\text{Площадь среза } S_{cp} = \frac{\pi d_{ш}^2}{4}.$$

$$\text{Прочность штифта на срез } \tau_{cp} = \frac{4F}{\pi d_{ш}^2} \leq [\tau_{cp}].$$

$$\text{Диаметр штифта } d_{ш} = \sqrt{\frac{4F}{\pi[\tau_{cp}]}}.$$

### 7.8. ШПЛИНТЫ, мм

Таблица 7.91

Шплинты по ГОСТ 397-79

| $d_0^*$ |            | 1     | 1,2  | 1,6  | 2     | 2,5   | 3,2   | 4     | 5      | 6,3    | 8      | 10     |      |
|---------|------------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|------|
| d       | наибольший | 0,9   | 1,0  | 1,4  | 1,8   | 2,3   | 2,9   | 3,7   | 4,6    | 5,9    | 7,5    | 9,5    |      |
|         | наименьший | 0,8   | 0,9  | 1,3  | 1,7   | 2,1   | 2,7   | 3,5   | 4,4    | 5,7    | 7,3    | 9,3    |      |
| $L_2$   | наибольший | 1,6   | 2,5  | 2,5  | 2,5   | 2,5   | 3,2   | 4,0   | 4,0    | 4,0    | 4,0    | 6,3    |      |
|         | наименьший | 0,8   | 1,3  | 1,3  | 1,3   | 1,3   | 1,6   | 2,0   | 2,0    | 2,0    | 2,0    | 3,2    |      |
| $L_1$   |            | 3,0   | 3,0  | 3,2  | 4,0   | 5,0   | 6,4   | 8,0   | 10,0   | 12,6   | 16,0   | 20,0   |      |
| D       | наибольший | 1,8   | 2,0  | 2,8  | 3,6   | 4,6   | 5,8   | 7,4   | 9,2    | 11,8   | 15,0   | 19,0   |      |
|         | наименьший | 1,6   | 1,7  | 2,4  | 3,2   | 4,0   | 5,1   | 6,5   | 8,0    | 10,3   | 13,1   | 16,6   |      |
| $D_1$   | болта      | свыше | 3,5  | 4,5  | 5,5   | 7,0   | 9,0   | 11,0  | 14,0   | 20,0   | 27,0   | 39,0   | 56,0 |
|         |            | до    | 4,5  | 5,5  | 7,0   | 9,0   | 11,0  | 14,0  | 20,0   | 27,0   | 39,0   | 56,0   | 80,0 |
|         | оси        | свыше | 3,0  | 4,0  | 5,0   | 6,0   | 8,0   | 9,0   | 12,0   | 17,0   | 23,0   | 29,0   | 44,0 |
|         |            | до    | 4,0  | 5,0  | 6,0   | 8,0   | 9,0   | 12,0  | 17,0   | 23,0   | 29,0   | 44,0   | 69,0 |
| L       |            | 8÷20  | 8÷25 | 8÷32 | 10÷40 | 12÷50 | 14÷63 | 16÷80 | 20÷112 | 20÷112 | 40÷112 | 45÷112 |      |

*Примечания:* \* Условный диаметр шплинта равен диаметру отверстия под шплинт.  
Размер L в указанных пределах брать из следующего ряда чисел: 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 32, 36, 40, 45, 50, 56, 63, 71, 80, 90, 100, 112.

**Расчет на прочность.** Шплинты используют в основном как простейшее предохранительное устройство удержания деталей в рабочем положении (фиксируют положение осей в опорах, гаек от отвертывания, положение колес на оси и т.д.). Шплинты не предназначены для передачи усилий или моментов. В некоторых случаях испытывают осевую нагрузку, которую компенсируют подбором диаметра шплинта.

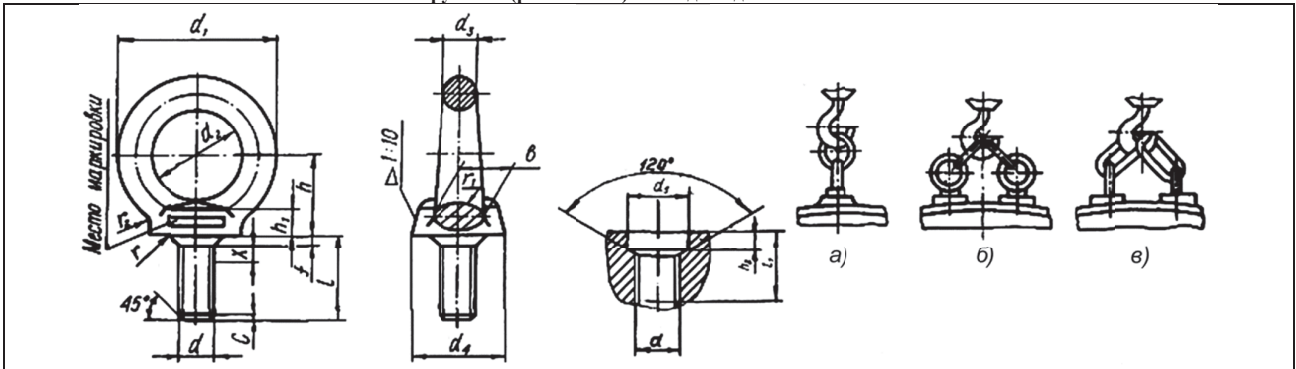
$$d = 1,13 \sqrt{\frac{0,5F}{[\tau_{cp}]}}$$

где  $F$  – сила, перпендикулярная оси шплинта;  $[\tau_{cp}] = 35 \dots 75$  МПа.  
Материал шплинта – сталь Ст3, Ст5.

7.9. ВИНТЫ ГРУЗОВЫЕ, ММ

Таблица 7.92

Винты грузовые (рым-болты) и гнезда под них по ГОСТ 4751-73



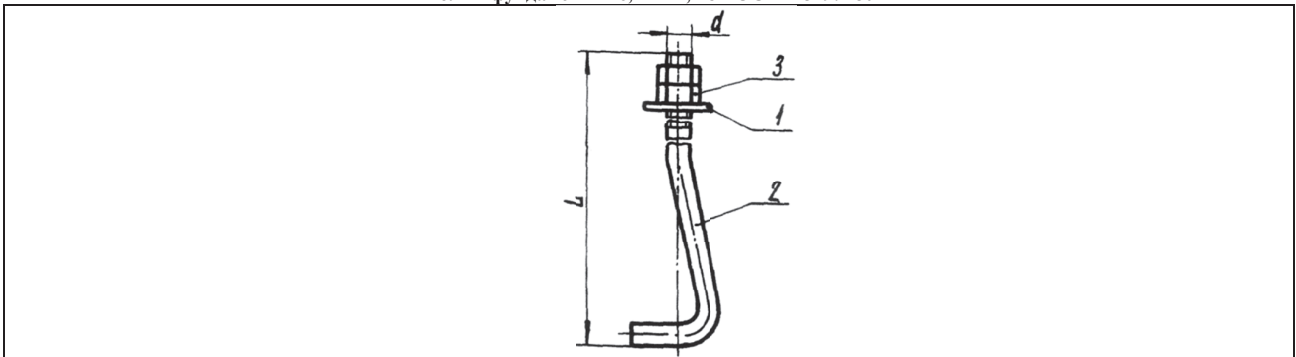
| d   | d <sub>1</sub> | d <sub>2</sub> | d <sub>3</sub> | d <sub>4</sub> | d <sub>5</sub> | h  | h <sub>1</sub> | h <sub>2</sub> | l  | l <sub>1</sub> | f | b  | c   | X   | r | r <sub>1</sub> | r <sub>2</sub> | Грузоподъемность, т |      |      | Масса, кг |
|-----|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----|----------------|----------------|----|----------------|---|----|-----|-----|---|----------------|----------------|---------------------|------|------|-----------|
|     |                |                |                |                |                |    |                |                |    |                |   |    |     |     |   |                |                | а                   | б    | в    |           |
| M8  | 36             | 20             | 8              | 20             | 13             | 18 | 6              | 5              | 18 | 19             | 2 | 10 | 1,2 | 2,5 | 2 | 4              | 4              | 0,12                | 0,16 | 0,08 | 0,05      |
| M10 | 45             | 25             | 10             | 25             | 15             | 22 | 8              | 6              | 21 | 22             | 2 | 12 | 1,5 | 3   | 2 | 5              | 4              | 0,20                | 0,25 | 0,13 | 0,12      |
| M12 | 54             | 30             | 12             | 30             | 17             | 26 | 10             | 7              | 25 | 26             | 2 | 14 | 1,8 | 3,5 | 2 | 5              | 6              | 0,30                | 0,35 | 0,18 | 0,19      |
| M16 | 63             | 35             | 14             | 35             | 22             | 30 | 12             | 8              | 32 | 33             | 2 | 16 | 2   | 4   | 2 | 6              | 6              | 0,55                | 0,50 | 0,25 | 0,31      |
| M20 | 72             | 40             | 16             | 40             | 28             | 35 | 14             | 9              | 38 | 39             | 3 | 19 | 2,5 | 5   | 2 | 7              | 8              | 0,85                | 0,65 | 0,30 | 0,50      |
| M24 | 90             | 50             | 20             | 50             | 32             | 45 | 16             | 10             | 45 | 47             | 3 | 24 | 3   | 6   | 3 | 9              | 12             | 1,25                | 1,00 | 0,50 | 0,87      |
| M30 | 108            | 60             | 24             | 65             | 39             | 55 | 18             | 11             | 54 | 57             | 3 | 28 | 4   | 7   | 3 | 11             | 15             | 2,00                | 1,40 | 0,70 | 1,58      |
| M36 | 126            | 70             | 28             | 75             | 46             | 65 | 22             | 12             | 64 | 65             | 4 | 32 | 4,5 | 8   | 4 | 12             | 18             | 3,00                | 2,00 | 1,00 | 2,43      |
| M42 | 144            | 80             | 32             | 85             | 54             | 75 | 25             | 14             | 72 | 74             | 4 | 38 | 5   | 9   | 4 | 13             | 20             | 4,00                | 2,60 | 1,30 | 3,72      |

Примечание. Материал – Сталь 20 ГОСТ 1050-74. Твердость – 105-149 НВ. Поле допуска резьбы – 8g.

7.10. БОЛТЫ ФУНДАМЕНТНЫЕ, ММ

Таблица 7.93

Болты фундаментные, тип 1, по ГОСТ 24379.1-80

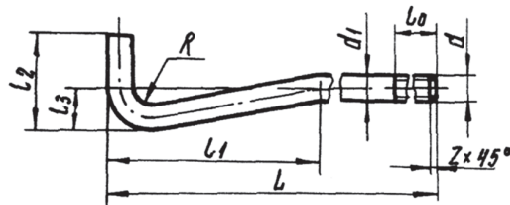


| Болты фундаментные изогнутые в сборе | Шайба (поз.1) ГОСТ 24379.1-80 | Шпилька (поз.2) | Гайка (поз.3) ГОСТ 5927-70 |
|--------------------------------------|-------------------------------|-----------------|----------------------------|
|                                      | Количество, шт.               |                 |                            |
|                                      | 1                             | 1               | 2                          |
| Размеры, (мм), обозначение           |                               |                 |                            |
| d×L                                  | d                             | d×L             | d                          |
| M16x300                              | 16                            | M16x300         | M16.6                      |
| M16x400                              | 16                            | M16x400         | M16.6                      |
| M20x400                              | 20                            | M20x400         | M20.6                      |
| M20x500                              | 20                            | M20x500         | M20.6                      |
| M20x600                              | 20                            | M20x600         | M20.6                      |
| M24x500                              | 24                            | M24x500         | M24.6                      |
| M24x600                              | 24                            | M24x600         | M24.6                      |
| M30x600                              | 30                            | M30x600         | M30.6                      |
| M30x710                              | 30                            | M30x710         | M30.6                      |

Примечание. Пример условного обозначения болта фундаментного в сборе с резьбой М20-8g, длиной (L) 400 мм, из стали 20: Болт фундаментный М20-8g ×400.20 ГОСТ 24379.1-80.



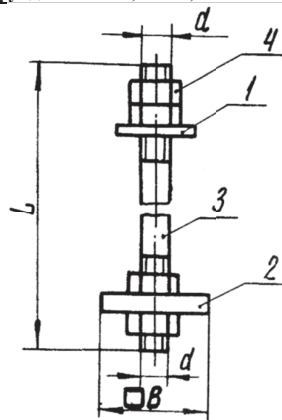
Шпилька (поз. 2) по ГОСТ 24379.1-80



| Диаметр резьбы, d | Шаг резьбы, P | d <sub>1</sub> | l <sub>0</sub> | l <sub>1</sub> | l <sub>2</sub> | l <sub>3</sub> | R  | Z   |
|-------------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----|-----|
| 16                | 2             | 16             | 90             | 130            | 60             | 30             | 10 | 2,0 |
| 20                | 2,5           | 20             | 100            | 160            | 80             | 40             |    | 20  |
| 24                | 3             | 24             | 110            | 200            | 100            | 50             |    |     |
| 30                | 3,5           | 30             | 120            | 250            | 120            | 60             |    |     |

Таблица 7.95

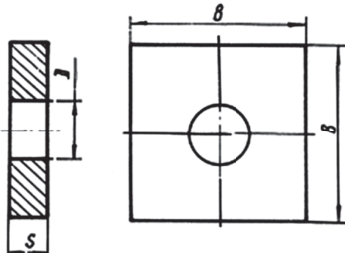
Болты фундаментные, тип 2, по ГОСТ 24379.1-80



| Болты фундаментные с анкерной плитой в сборе | Шайба (поз. 1) по ГОСТ 24379.1-80 | Плита анкерная (поз. 2) | Шпилька (поз.3) | Гайка (поз. 4) по ГОСТ 5927-70 |
|--|-----------------------------------|-------------------------|-----------------|--------------------------------|
|  | Количество                        |                         |                 |                                |
|  | 1                                 | 1                       | 1               | 4                              |
| d×L  | d                                 | B                       | d×L             | d                              |
| M1 6x200                                     | 16                                | 65                      | M1 6x200        | M16.6                          |
| M1 6x250                                     | 16                                | 65                      | M1 6x250        |                                |
| M1 6x350                                     | 16                                | 65                      | M16x350         |                                |
| M1 6x450                                     | 16                                | 65                      | M16x450         | M20.6                          |
| M20x200                                      | 20                                | 80                      | M20 x 250       |                                |
| M20x350                                      | 20                                | 80                      | M20x350         |                                |
| M20x450                                      | 20                                | 80                      | M20 x 450       | M24.6                          |
| M24x350                                      | 24                                | 100                     | M24 x 350       |                                |
| M24x450                                      | 24                                | 100                     | M24x450         |                                |
| M30x450                                      | 30                                | 120                     | M30x450         | M30.6                          |
| M36x400                                      | 36                                | 150                     | M36x400         | M36.6                          |

Примечание. Пример условного обозначения болта фундаментного с резьбой M20-8g, длиной (L) 350 мм, из стали 20:  
**БОЛТ ФУНДАМЕНТНЫЙ 2.1.M20-8g, x350.20 ГОСТ 24379.1-80.**

Плита анкерная по ГОСТ 24379.1-80

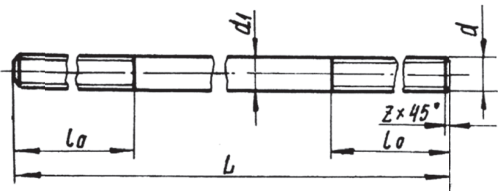


| Диаметр стержня | D<br>H17 | B<br>j <sub>s</sub> 17 | S  |
|-----------------|----------|------------------------|----|
| 16              | 22       | 65                     | 14 |
| 20              | 26       | 80                     | 16 |
| 24              | 32       | 100                    | 18 |
| 30              | 38       | 120                    | 20 |
| 36              | 45       | 150                    | 20 |

*Примечание.* Материал – Ст.3 ГОСТ 380-88. Пример условного обозначения плиты размером (B) 65 мм: ПЛИТА 65 ГОСТ 24379.1-80.

Т а б л и ц а 7.97

Шпилька (поз. 3) по ГОСТ 24379.1-80



| Диаметр резьбы, d | Шаг резьбы, P | d <sub>1</sub> | l <sub>0</sub> | Z   |
|-------------------|---------------|----------------|----------------|-----|
| 16                | 2             | 16             | 90             | 2,0 |
| 20                | 2,5           | 20             | 100            | 2,5 |
| 24                | 3             | 24             | 110            |     |
| 30                | 3,5           | 30             | 120            |     |
| 36                | 4             | 36             | 130            | 3,0 |

*Примечание.* Материал – Сталь 20 ГОСТ 1050-74. Поле допуска резьбы – 8g.

Фундаментные болты, которыми закрепляют машины небольшой и средней массы, устанавливают в углубления в бетонном основании и после выверки положения машины заливают в фундаментах бетоном (рис. 7.23, а). Для более надежного крепления концы этих болтов отгибают или делают петлей, куда затем помещают стержень или раздваивают и т. п. Размеры фундаментных болтов приведены в табл. 7.93 и 7.95.

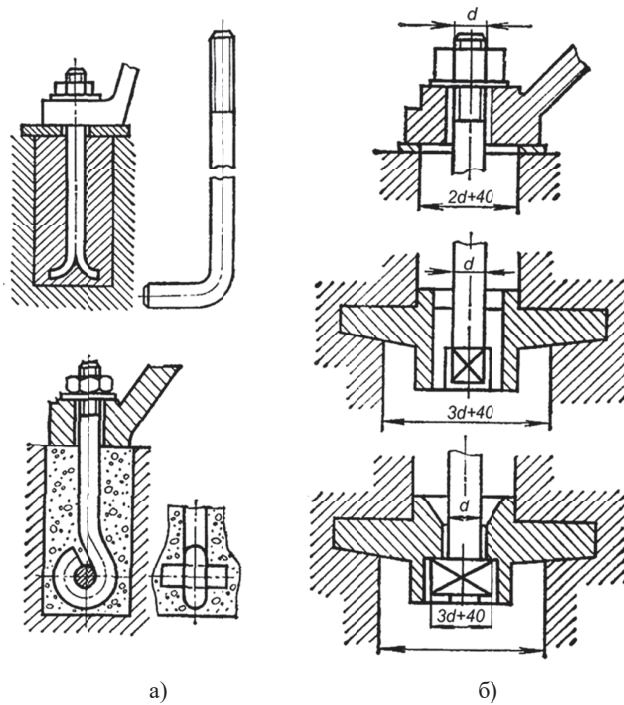


Рис. 7.23. Фундаментные болты:  
а – под заливку бетоном; б – анкерные

Для закрепления на фундаменте машины относительно большой массы, а также при действии на фундаментные болты больших динамических нагрузок применяют анкерные фундаментные болты, которые позволяют снять машину с фундамента без разрушения фундамента. Анкерный болт нижним концом соединяют с опорной плитой, предварительно заливаемой в фундамент и называемой анкерной. Наиболее распространен анкерный болт с молотковой (прямоугольной) головкой (рис. 7.23, б). Этот болт опускают в фундамент сверху; после прохода головки через прямоугольное отверстие анкерной плиты его поворачивают вокруг своей оси на  $90^\circ$  и этим закрепляют его в гнезде плиты, предназначенном для головки болта.

### 7.11. КЛИНОВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ, мм

Клиновое разъемное соединение состоит из деталей, соединяемых посредством детали, имеющей форму клина. Клиновые соединения подразделяют на установочные (рис. 7.24, а) и (табл. 7.98.), предназначенные для регулирования и установки нужного взаимного положения деталей, и силовые (рис. 7.24, б), предназначенные для прочного скрепления деталей.

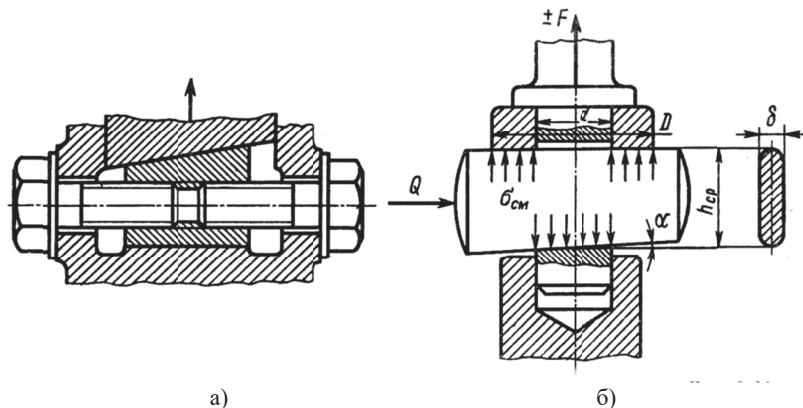
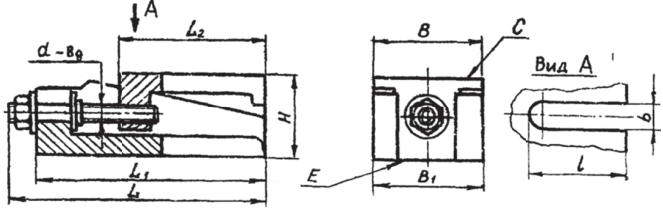


Рис. 7.24. Клиновые соединения и схема действующих сил в соединении

Силовые клиновые соединения бывают ненапряженные, которые не испытывают напряжений до приложения внешней силы  $F$  (рис. 7.24, а), и напряженные, в которых силой  $Q$  сообщают клину и соединяемым деталям предварительный натяг (рис. 7.24, б) для прочности соединения. При постоянном направлении нагрузки можно сообщать клину предварительный натяг только в охватываемой детали. Ненапряженные соединения применяют для восприятия постоянных односторонних нагрузок (фундаментные башмаки), напряженные – при знакопеременных нагрузках (соединение штоков).

Для надежности самоторможения клиньев уклон  $i = \tan \alpha$  в силовых клиновых соединениях обычно принимают равным 1:100; или 1:40, или 1:30. Установочные клинья выполняют с уклонами 1:10, 1:6, 1:4. При уклонах, меньших 1:25, и при действии на клиновое соединение постоянной нагрузки (без вибраций) клин надежно удерживается в рабочем положении силами трения. В остальных случаях клинья закрепляют специальными замками (рис. 7.24, а). Иногда пользуются клином без скоса, называемым чекой. Так, например, чека применяется в фундаментном болте, где она заменяет головку болта.

Опоры клиновые регулируемые



| В   | b  | L   | L <sub>1</sub> | L <sub>2</sub> | l   | H     |       | Грузоподъемность опоры, кГ * | Масса, кг |
|-----|----|-----|----------------|----------------|-----|-------|-------|------------------------------|-----------|
|     |    |     |                |                |     | наиб. | наим. |                              |           |
| 110 | 28 | 240 | 220            | 140            | 95  | 85    | 80    | до 2500                      | 8,47      |
|     | 32 |     |                |                |     | 80    |       |                              |           |
| 130 | 34 | 300 | 280            | 180            | 130 | 97    | 90    | до 5000                      | 15,21     |
| 140 | 52 | 375 | 350            | 240            | 180 | 108   | 100   | до 7500                      | 25,37     |

**Примечания:** Материал опорных деталей – чугун или сталь.  
 \* – Грузоподъемность указана для возможности регулировки винтом.  
 1. Допуск параллельности поверхности С относительно поверхности Е – не более 0,1 мм.  
 2. Взаимное прилегание поверхностей основания и клина должно быть равномерным.

Расчет на прочность силовых ненапряженных и напряженных клиновых соединений различается лишь тем, что с учетом предварительного натяга, расчет ненапряженного соединения производится по силе  $F$ , а напряженного – по силе  $1,25 F$ .

Толщину  $\delta$  клина, для случая напряженного клинового соединения (рис. 7. 24, б.) принимают  $\delta = (1/3 \dots 1/4) d$  в зависимости от диаметра  $d$  хвостовика стержня (части стержня, помещенной во втулке).

Диаметр хвостовика стержня, требуемый из условия прочности на растяжение (по поперечному сечению с отверстием для клина при  $\delta = 0,25d$ ), определится из неравенства

$$0,25\pi d^2 - \delta d = 0,25\pi d^2 - 0,25d^2 \geq 1,25F / [\sigma_p], \text{ откуда}$$

диаметр  $d$  хвостовика стержня получаем из зависимости

$$d \geq 1,5 \sqrt{\frac{F}{[\sigma_p]}}$$

где допускаемое напряжение на растяжение  $[\sigma_p]$  для стержня, изготовленного из стали Ст4, Ст5, Сталь 35, 40 и 45, при действии нагрузки, изменяющейся по симметричному циклу,  $[\sigma_p] = 60 \div 90$  МПа.

Диаметр втулки принимают

$$D = (1,8 \dots 2)d.$$

Высоту  $h$  клина определяют расчетом клина на изгиб:

$$\frac{\delta \cdot h^2}{6} = \frac{M}{[\sigma_u]}, \text{ откуда}$$

$$h = 2,45 \sqrt{\frac{M}{\delta[\sigma_u]}}$$

где  $M$  – изгибающий момент в опасном сечении клина  $M = 1,25FD/8$ ;

$[\sigma_u]$  – допускаемое напряжение на изгиб. Для клина принимают допускаемое напряжение повышенным, как для предохранительной детали, т. е.  $[\sigma_u] = 100 \div 150$  МПа.

Для случая ненапряженного соединения – установочные клинья по всей длине прилегают к опорной поверхности детали и работают только на сжатие (рис. 7. 24, а).

Поэтому проверяют величину удельного давления на поверхности контакта клина с регулируемой деталью

$$F = bl[\sigma_{сж}],$$

где  $b$  и  $l$  – ширина и длина опорной площадки клина;  $[\sigma_{сж}]$  – удельное давление; при спокойной нагрузке для чугуна и бронзы  $[\sigma_{сж}] = 80$  МПа; для стали –  $100 \div 150$  МПа.

## 7.12. ШЛИЦЕВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

## 7.12.1. ШЛИЦЕВЫЕ ПРЯМОБОЧНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Таблица 7.99

Размеры шлицевых прямобоочных соединений, (мм), по ГОСТ 1139–80

| Номинальный размер $Z \times d \times D$ | b   | $d_1$ ,<br>не менее | a,<br>не менее | f       | г,<br>не более |
|--|-----|---------------------|----------------|---------|----------------|
|  |     |                     |                |         |                |
| 6×23×26                                  | 6   | 22,1                | 3,54           | 0,3+0,2 | 0,2            |
| 6×26×30                                  | 6   | 24,6                | 3,85           | 0,3+0,2 | 0,2            |
| 6×28×32                                  | 7   | 26,7                | 4,03           | 0,3+0,2 | 0,2            |
| 8×32×36                                  | 6   | 30,4                | 2,71           | 0,4+0,2 | 0,3            |
| 8×36×40                                  | 7   | 34,5                | 3,46           | 0,4+0,2 | 0,3            |
| 8×42×46                                  | 8   | 40,4                | 5,03           | 0,4+0,2 | 0,3            |
| 8×46×50                                  | 9   | 44,6                | 5,75           | 0,4+0,2 | 0,3            |
| 8×52×58                                  | 10  | 49,7                | 4,89           | 0,5+0,3 | 0,5            |
| 8×56×62                                  | 10  | 53,6                | 6,38           | 0,5+0,3 | 0,5            |
| 8×62×62                                  | 12  | 59,8                | 7,31           | 0,5+0,3 | 0,5            |
| 10×72×78                                 | 12  | 69,6                | 5,45           | 0,5+0,3 | 0,5            |
| 10×82×88                                 | 12  | 79,3                | 8,62           | 0,5+0,3 | 0,5            |
| 10×92×98                                 | 14  | 89,14               | 10,08          | 0,5+0,3 | 0,5            |
| 10×102×108                               | 16  | 99,9                | 11,49          | 0,5+0,3 | 0,5            |
| 10×112×120                               | 18  | 108,8               | 10,72          | 0,5+0,3 | 0,5            |
| <i>Средняя серия</i>                     |     |                     |                |         |                |
| 6×11×14                                  | 3   | 9,9                 | —              | 0,3+0,2 | 0,2            |
| 6×13×16                                  | 3,5 | 12,0                | —              | 0,3+0,2 | 0,2            |
| 6×16×20                                  | 4   | 14,54               | —              | 0,3+0,2 | 0,2            |
| 6×18×22                                  | 5   | 16,7                | —              | 0,3+0,2 | 0,2            |
| 6×21×25                                  | 5   | 19,5                | 1,95           | 0,3+0,2 | 0,2            |
| 6×23×28                                  | 6   | 21,3                | 1,34           | 0,3+0,2 | 0,2            |
| 6×26×32                                  | 6   | 23,4                | 1,65           | 0,4+0,2 | 0,3            |
| 6×28×34                                  | 7   | 25,9                | 1,70           | 0,4+0,2 | 0,3            |
| 8×32×38                                  | 6   | 29,4                | —              | 0,4+0,2 | 0,3            |
| 8×36×42                                  | 7   | 33,5                | 1,02           | 0,4+0,2 | 0,3            |
| 8×42×48                                  | 8   | 39,5                | 2,57           | 0,4+0,2 | 0,3            |
| 8×46×54                                  | 9   | 42,7                | —              | 0,5+0,3 | 0,5            |
| 8×52×60                                  | 10  | 48,7                | 2,44           | 0,5+0,3 | 0,5            |
| 8×56×65                                  | 10  | 52,2                | 2,5            | 0,5+0,3 | 0,5            |
| 8×62×72                                  | 12  | 57,8                | 2,4            | 0,5+0,3 | 0,5            |
| 10×72×82                                 | 12  | 67,4                | —              | 0,5+0,3 | 0,5            |
| 10×82×92                                 | 12  | 77,1                | 3,0            | 0,5+0,3 | 0,5            |
| 10×92×102                                | 14  | 87,3                | 4,5            | 0,5+0,3 | 0,5            |
| 10×102×112                               | 16  | 97,7                | 6,3            | 0,5+0,3 | 0,5            |
| 10×112×125                               | 18  | 106,3               | 4,4            | 0,5+0,3 | 0,5            |
| <i>Тяжелая серия</i>                     |     |                     |                |         |                |
| 10×16×20                                 | 2,5 | 14,1                | —              | 0,3+0,2 | 0,2            |
| 10×18×23                                 | 3   | 15,6                | —              | 0,3+0,2 | 0,2            |
| 10×21×26                                 | 3   | 18,5                | —              | 0,3+0,2 | 0,2            |
| 10×23×29                                 | 4   | 20,3                | —              | 0,3+0,2 | 0,2            |
| 10×26×32                                 | 4   | 23,0                | —              | 0,4+0,2 | 0,3            |
| 10×28×35                                 | 4   | 24,4                | —              | 0,4+0,2 | 0,3            |
| 10×32×40                                 | 5   | 28,0                | —              | 0,4+0,2 | 0,3            |
| 10×36×45                                 | 5   | 31,3                | —              | 0,4+0,2 | 0,3            |
| 10×42×52                                 | 6   | 36,9                | —              | 0,4+0,2 | 0,3            |

|            |   |       |   |         |     |
|------------|---|-------|---|---------|-----|
| 10×46×56   | 7 | 40,9  | — | 0,5+0,3 | 0,5 |
| 16×52×60   | 5 | 47,0  | — | 0,5+0,3 | 0,5 |
| 16×56×65   | 5 | 50,6  | — | 0,5+0,3 | 0,5 |
| 16×62×72   | 6 | 56,1  | — | 0,5+0,3 | 0,5 |
| 16×72×82   | 7 | 65,9  | — | 0,5+0,3 | 0,5 |
| 20×82×92   | 6 | 75,6  | — | 0,5+0,3 | 0,5 |
| 20×92×102  | 7 | 85,5  | — | 0,5+0,3 | 0,5 |
| 20×102×115 | 8 | 94,0  | — | 0,5+0,3 | 0,5 |
| 20×112×125 | 9 | 104,0 | — | 0,5+0,3 | 0,5 |

Примечания: 1. z – число зубьев. 2. При центрировании по внутреннему диаметру применяют исполнение А и С. 3. При центрировании по наружному диаметру и боковым сторонам зубьев применяют исполнение В. 4. Размеры в мм.

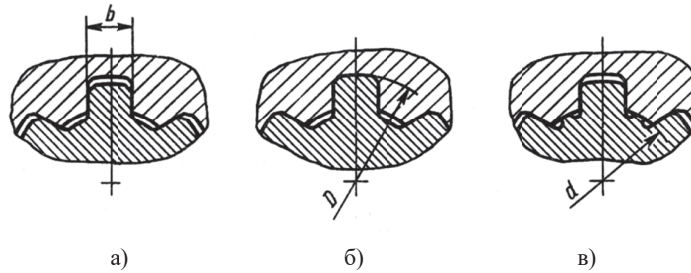


Рис. 7.25. Центрирование прямоугольных шлицевых соединений

Прямоугольные шлицевые соединения выполняют с различным центрированием (рис. 7.25): по боковым сторонам зубьев (а), по наружному диаметру (б), по внутреннему диаметру (в).

Параметры шлицевых прямоугольных соединений по ГОСТ 1139–80 приведены в таблице 7.99.

Наиболее технологичным является центрирование по наружному диаметру, применяемому при невысокой твердости внутренней поверхности ступицы (НВ<350). В этом случае шлицевое отверстие обрабатывают протяжкой, а посадочную поверхность вала шлифуют. При высокой твердости посадочной поверхности ступицы и вала рекомендуется центрирование по внутреннему диаметру. В этом случае после термообработки посадочные поверхности ступицы и вала шлифуют соответственно на внутришлифовальном и шлицешлифовальном станках.

Предпочтительные посадки для сопрягаемых поверхностей шлицевых прямоугольных соединений в табл. 7.100, 7.101 и 7.102.

Таблица 7.100

Предпочтительные посадки для сопрягаемых поверхностей шлицевых прямоугольных соединений по ГОСТ 25347 – 82

| Способ центрирования       | Посадки центрирующего диаметра d или D | Посадки по ширине, b  |
|----------------------------|--|---|
| По внутреннему диаметру, d | $\frac{H7}{j_s7}; \frac{H7}{g6}$       | $\frac{D9}{h9}; \frac{D9}{j_s7}; \frac{D9}{k7}; \frac{F10}{f9}; \frac{F10}{j_s7}$ |
| По наружному диаметру, D   | $\frac{H7}{f7}; \frac{H7}{j_s6}$       | $\frac{F8}{f7}; \frac{F8}{f8}; \frac{F8}{j_s7}$                                   |
| По ширине, b               | —                                      | $\frac{F8}{j_s7}; \frac{D9}{e8}; \frac{D9}{k8}; \frac{F10}{d9}; \frac{F10}{f8}$   |

Таблица 7.101

Поля допусков на нецентрирующие диаметры шлицевых прямоугольных соединений

| Нецентрирующий диаметр | Вид центрирования | Поле допуска |        |
|------------------------|-------------------|--------------|--------|
|                        |                   | вал*         | штулка |
| d                      | По D или по b     | —            | H11    |
| D                      | По d или по b     | a11          | H12    |

Примечание. \* Диаметр d – не менее диаметра d<sub>1</sub>.



## Поля допусков диаметров шлицевых прямобочных соединений

| Предельное отклонение центрирующего диаметра D   |        |             |     |
|--|--------|-------------|-----|
| D  | втулки |             | H7  |
|  | вала   | подвижное   | g6  |
|  |        | неподвижное | h8  |
| Предельное отклонение размера b                  |        |             |     |
| Размер b   | втулки |             | F10 |
|  | вала   |             | e9  |
| Предельное отклонение нецентрирующего диаметра d |        |             |     |
| d  | втулки |             | H11 |
|  | вала   |             | —   |

## 7.12.2. ШЛИЦЕВЫЕ ЭВОЛЬВЕНТНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

## Размеры шлицевых эвольвентных соединений, (мм), по ГОСТ 6033–80

| Центрирование по z |              |      |    |    | Центрирование по D |              |    |    |                |
|--------------------|--------------|------|----|----|--------------------|--------------|----|----|----------------|
| D, мм              | Модуль m, мм |      |    |    | D, мм              | Модуль m, мм |    |    | Число зубьев z |
|                    | 0,8          | 1,25 | 2  | 3  |                    | 2            | 3  | 5  |                |
|                    | 10           | 11   | —  | —  |                    | —            | 60 | 28 |                |
| 12                 | 13           | —    | —  | —  | 65                 | 31           | 20 | —  |                |
| 15                 | 17           | —    | —  | —  | 70                 | 34           | 22 | —  |                |
| 17                 | 23           | 12   | —  | —  | 75                 | 36           | 24 | —  |                |
| 20                 | 30           | 14   | —  | —  | 80                 | 38           | 25 | —  |                |
| 25                 | 36           | 18   | —  | —  | 85                 | —            | 27 | 15 |                |
| 30                 | —            | 20   | —  | —  | 90                 | —            | 28 | 16 |                |
| 35                 | —            | 26   | 16 | —  | 95                 | —            | 30 | 17 |                |
| 40                 | —            | 30   | 18 | —  | 100                | —            | 32 | 18 |                |
| 45                 | —            | 34   | 21 | —  | 110                | —            | 35 | 20 |                |
| 50                 | —            | 38   | 24 | —  | 120                | —            | 38 | 22 |                |
| 55                 | —            | —    | 26 | 17 |                    |              |    |    |                |

*Примечания:* 1. В таблице приведены номинальные диаметры D из первого (предпочтительного) ряда – в интервале от 10 до 100 мм; соответственно модули также из первого ряда в интервале от 0,8 до 5 мм. В ГОСТ 6033–80 интервал диаметров от 4 до 500 мм, интервал модулей от 0,5 до 10 мм.  
2. Числа зубьев z приведены в таблице только те, которые отмечены в стандарте как предпочтительные.

Параметры шлицевых эвольвентных соединений по ГОСТ 6033–80 приведены в табл. 7.103.

Основные стандартные параметры эвольвентного соединения:

- номинальный диаметр D;
- модуль m;
- диаметр делительной окружности  $d = mz$ , где z – число шлицев (зубьев);
- диаметр окружности впадин втулки, который при плоской форме дна  $D_f = D$ , а при закругленной  $D_f = D + 0,44m$ ;
- диаметр окружности вершин зубьев втулки  $D_a = D - 2m$ ;
- диаметр окружности впадин вала, который при плоской форме дна  $d_f = D - 2,2m$ , а при закругленной  $d_f = D - 2,76m$ ;
- диаметр окружности вершин зубьев вала: при центрировании по боковым поверхностям зубьев  $d_a = D - 0,2m$ ; при центрировании по наружному диаметру  $d_a = D$ ;  $R = 0,47m$ ;
- угол профиля  $\alpha_d = 30^\circ$ .

Соединения с эвольвентными зубьями выполняют с центрированием по боковым поверхностям зубьев и реже по наружному диаметру, которое обеспечивает более высокую точность соосности втулки с валом; допускается применять центрирование по внутреннему диаметру.

При центрировании по боковым поверхностям зубьев и при плоской форме дна впадины высота зубьев вала и втулки равна модулю, т.е.  $h = H = m$ , а рабочая высота профиля (с учетом зазоров и фасок) приблизительно равна  $0,8m$ . Эвольвентные зубья, как и прямобочные, можно применять в подвижных и неподвижных соединениях.

Допуски и посадки на шлицевые эвольвентные соединения устанавливает ГОСТ 6033–80.

**Расчет на прочность шлицевых соединений.** Боковые поверхности зубьев шлицевых соединений работают на износ и смятие, а основание их – на изгиб и срез. Преобладающее значение имеет сопротивление рабочих поверхностей зубьев смятию и изнашиванию.

При расчете на прочность шлицевых соединений нагрузочная способность соединения определяется как меньшее из двух значений, полученных при расчете допускаемых напряжений на смятие и на износ.

Соединения типа муфт, нагруженные только крутящим моментом, по допускаемым напряжениям на износ не рассчитываются.

Расчет по допускаемым напряжениям на смятие производится по условию

$$\sigma_{см} = \frac{2T}{d_{cp} A_{см}} \leq [\sigma_{см}],$$

где  $T$  – вращающий момент, Н·мм;  $d_{cp}$  – средний диаметр шлицевого соединения, мм;  $A_{см}$  – площадь смятия, мм<sup>2</sup>;  $[\sigma_{см}]$  – допускаемое напряжение (удельное среднее давление) из расчета на смятие Н/мм<sup>2</sup>.

$A_{см} = h_p/z$ , где  $h_p$  – рабочая высота зубьев;  $l$  – длина ступицы;  $z$  – число зубьев.

Для прямоугольного шлицевого соединения

$$d_{cp} = 0,5(D + d); h = 0,5(D - d) - 2f,$$

где  $f$  – размер фаски.

Для шлицев эвольвентного профиля с центрированием по боковым поверхностям шлицев  $s$

$$d_{cp} = d = mz; h = m = d/z.$$

Для шлицев эвольвентного профиля с центрированием по  $D$

$$d_{cp} = d = mz; h = 0,9m = 0,9d/z.$$

Для шлицев треугольного профиля

$$d_{cp} = d = mz; h = 0,5(D - d_a).$$

Расчет соединения по напряжению на износ производится по формуле

$$\sigma_{см} = \frac{2T}{d_{cp} A_{см}} \leq [\sigma_{изн}],$$

где  $[\sigma_{изн}]$  – допускаемое напряжение для ограничения износа, Н/мм<sup>2</sup>, которое зависит от вида термообработки и твердости рабочих поверхностей деталей;

$[\sigma_{изн}] = 0,028 \text{ HB}$  – без термической обработки зубьев;

$[\sigma_{изн}] = 0,032 \text{ HB}$  – для улучшенных зубьев ( $\text{HB} \leq 350$ );

$[\sigma_{изн}] = 0,3 \text{ HRC}$  – для закаленных зубьев;

$[\sigma_{изн}] = 0,4 \text{ HRC}$  – для закаленных зубьев с цементацией.

Допускаемое напряжение на смятие можно определить по зависимости

$$[\sigma_{см}] = \frac{\sigma_T}{[s] K_{см} K_d},$$

где  $[s] = 1,25 \dots 1,4$  – допускаемый коэффициент запаса прочности (верхнее значение для закаленных рабочих поверхностей);

$K_{см}$  – общий коэффициент концентрации нагрузки, приблизительно  $K_{см} = 4 \dots 5$ ;

$K_d = 2 \dots 2,5$  – коэффициент динамичности нагрузки при реверсировании без ударов (верхнее значение для незакаленных поверхностей).

Расчет шлицевых эвольвентных соединений на смятие ведется по формуле

$$\sigma_{см} = \frac{2T}{d A_{см}} \leq [\sigma_{см}],$$

где  $d = mz$  – диаметр делительной окружности;  $m$  – модуль соединения,  $z$  – число зубьев;  $A_{см} = h_p/z$  – условная площадь смятия;  $h_p = 0,8m$  – рабочая высота зубьев;  $l$  – длина ступицы. Допускаемое напряжение смятия устанавливают в зависимости от характера соединения (подвижное, неподвижное), условий эксплуатации, термообработки и других факторов. Для подвижных соединений  $[\sigma_{см}] = 3 \dots 70$  МПа, для неподвижных  $[\sigma_{см}] = 35 \dots 200$  МПа (нижние значения для ударной нагрузки).

Рекомендуемые значения допускаемых напряжений на смятие боковых граней зубьев для стали с пределом прочности  $\sigma_B \geq 500$  МПа для машин общего назначения приведены в табл. 7.104.

Рекомендуемые значения допускаемых напряжений

| Условия работы соединения          | Условия эксплуатации | Термообработка рабочих поверхностей зубьев |              |
|------------------------------------|----------------------|--|--------------|
|                                    |                      | не производится                            | производится |
|                                    |                      | [ $\sigma$ ] <sub>см</sub> МПа             |              |
| Соединение неподвижное             | Тяжелые              | 35... 50                                   | 40...70      |
|                                    | Средние              | 60... 100                                  | 100... 140   |
|                                    | Легкие               | 80... 120                                  | 120...200    |
| Соединение подвижное без нагрузки  | Тяжелые              | 15...20                                    | 20...35      |
|                                    | Средние              | 20...30                                    | 30...60      |
|                                    | Легкие               | 25...40                                    | 40...70      |
| Соединение подвижное под нагрузкой | Тяжелые              | –  | 3...10       |
|                                    | Средние              | –  | 5...15       |
|                                    | Легкие               | –  | 10...20      |

*Примечание: 1. Условия эксплуатации тяжелые – нагрузка знакопеременная с ударами в обоих направлениях. 2. Вибрации большой частоты и амплитуды. 3. Условия смазки (для подвижных соединений) плохие. 4. Твердость деталей соединения невысокая. 5. Невысокая точность выполнения основных размеров и соосности отверстия и вала.*

**Пример**

Для вала  $d = 45$  мм, сталь 45 с термообработкой – улучшение 290НВ, с передаваемым моментом  $T = 189,5$  Н·м при спокойной нагрузке, определить шлицевое неподвижное соединение.

**Вычисление**

Для  $d=45$  мм по таблице выбираем прямобочное соединение средней серии

$$S_F = 600 \text{ мм}^3/\text{мм.}$$

$$z \times d \times D = 8 \times 46 \times 54 \text{ мм.}$$

Допускаемые напряжения. Для термообработки – улучшение при спокойной нагрузке  
 $[\sigma_{см}] = 60 \text{ Н/мм}^2$ ,  $[\sigma_{изм}] = 0,032 \text{ НВ} = 0,032 \cdot 290 = 9,3 \text{ Н/мм}^2$ .  
 Расчетная длина зубьев

$$l = \frac{T}{S_p [\sigma_{изм}]} = \frac{189,5 \cdot 10^3}{600 \cdot 9,3} = 34 \text{ мм.}$$

Длина ступицы колеса –  $L_{ст} = 1 + 6 \text{ мм} = 34 + 6 = 40 \text{ мм}$ , что удовлетворяет требованиям.

**7.13. ШПОНОЧНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ**

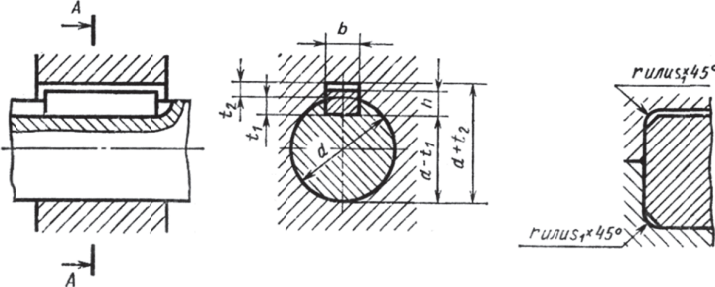
Таблица 7.105

Размеры призматических шпонок, (мм) по ГОСТ 23360–78

| Размеры призматических шпонок, (мм) по ГОСТ 23360–78 |    |                                   |        |                |     |                |    |                                   |        |                |     |
|--|----|-----------------------------------|--------|----------------|-----|----------------|----|-----------------------------------|--------|----------------|-----|
| Размеры шпонки                                       |    | Фаска $S \times 45^\circ$ или $r$ |        | Интервалы длин |     | Размеры шпонки |    | Фаска $S \times 45^\circ$ или $r$ |        | Интервалы длин |     |
| b  | h  | $\geq$                            | $\leq$ | от             | до  | b              | h  | $\geq$                            | $\leq$ | от             | до  |
| 2  | 2  |                                   |        | 6              | 20  | 25             | 14 |                                   |        | 70             | 280 |
| 3  | 3  | 0,16                              | 0,25   | 6              | 36  | 28             | 16 | 0,60                              | 0,80   | 80             | 320 |
| 4  | 4  |                                   |        | 8              | 45  | 32             | 18 |                                   |        | 90             | 360 |
| 5  | 5  |                                   |        | 10             | 56  | 36             | 20 |                                   |        | 100            | 400 |
| 6  | 6  | 0,25                              | 0,40   | 14             | 70  | 40             | 22 | 1,00                              | 1,20   | 100            | 400 |
| 8  | 7  |                                   |        | 18             | 90  | 45             | 25 |                                   |        | 110            | 450 |
| 10   | 8  |                                   |        | 22             | 110 | 50             | 28 |                                   |        | 125            | 500 |
| 12   | 8  |                                   |        | 28             | 140 | 56             | 32 |                                   |        | 140            | 500 |
| 14   | 9  | 0,40                              | 0,60   | 36             | 160 | 63             | 32 | 1,60                              | 2,00   | 160            | 500 |
| 16   | 10 |                                   |        | 45             | 150 | 70             | 36 |                                   |        | 180            | 500 |
| 18   | 11 |                                   |        | 50             | 200 | 80             | 40 |                                   |        | 200            | 500 |
| 20   | 12 | 0,60                              | 0,80   | 56             | 220 | 90             | 45 | 2,50                              | 3,00   | 220            | 500 |
| 22   | 14 |                                   |        | 63             | 250 | 100            | 50 | 2,50                              | 3,00   | 250            | 500 |

*Примечания: 1. Длины шпонок необходимо выбирать из ряда: 6; 8; 10; 12; 14; 16; 18; 20; 22; 25; 28; 32; 36; 40; 45; 50; 56; 63; 70; 80; 90; 100; 110; 125; 140; 160; 180; 200; 220; 250; 280; 320; 360; 400; 450; 500 мм.*  
 2. Материал шпонок – сталь чистотянутая, по ГОСТ 8786-68,  $\sigma_b > 590$  МПа.

Размеры сечений призматических шпонок и пазов, (мм) по ГОСТ 23360–78



| Диаметр вала, d |     | Размеры сечений шпонок |    | Глубина паза   |                | Радиус закругления пазов r или фаска s <sub>1</sub> × 45° |      |
|-----------------|-----|------------------------|----|----------------|----------------|---|------|
|                 |     |                        |    | вала           | втулки         |   |      |
| от              | до  | b                      | h  | t <sub>1</sub> | t <sub>2</sub> | ≥   | ≤    |
| 6               | 8   | 2                      | 2  | 1,2            | 1,0            | 0,08  | 0,16 |
| 8               | 10  | 3                      | 3  | 1,8            | 1,4            |   |      |
| 10              | 12  | 4                      | 4  | 2,5            | 1,8            |   |      |
| 12              | 17  | 5                      | 5  | 3              | 2,3            | 0,16  | 0,25 |
| 17              | 22  | 6                      | 6  | 3,5            | 2,8            |   |      |
| 22              | 30  | 8                      | 7  | 4              | 3,3            |   |      |
| 30              | 38  | 10                     | 8  | 5              | 3,3            | 0,25  | 0,4  |
| 38              | 44  | 12                     | 8  | 5              | 3,3            |   |      |
| 44              | 50  | 14                     | 9  | 5,5            | 3,8            |   |      |
| 50              | 58  | 16                     | 10 | 6              | 4,3            |   |      |
| 58              | 65  | 18                     | 11 | 7              | 4,4            |   |      |
| 65              | 75  | 20                     | 12 | 7,5            | 4,9            | 0,4   | 0,6  |
| 75              | 85  | 22                     | 14 | 9              | 5,4            |   |      |
| 85              | 95  | 25                     | 14 | 9              | 5,4            |   |      |
| 95              | 110 | 28                     | 16 | 10             | 6,4            |   |      |
| 110             | 130 | 32                     | 18 | 11             | 7,4            |   |      |
| 130             | 150 | 36                     | 20 | 12             | 8,4            |   |      |

**Примечания:** 1. В стандарте даны размеры сечений шпонок и пазов для диаметров вала до 500 мм и шпонок сечением от 6×8 до 100×50 мм.  
2. Свободное соединение с полем допуска Н9 для вала и D10 (для втулки). Нормальное соединение с полем допуска Н9 ширины шпоночного паза вала и ширины шпоночного паза втулки – J, 9. Плотное, когда паз вала и втулки выполнены по Р9.

### 7.13.1. Типы шпонок призматических

Призматические шпонки по назначению различают:

**обыкновенные и высокие** со скругленными или плоскими концами, предназначенные для неподвижных соединений ступиц с валами по ГОСТ 23360–78 (табл. 7.105);

**направляющие** с креплением на валу (ГОСТ 8790–79, рис. 7.26, а), применяемые в тех случаях, когда ступицы имеют возможность перемещаться вдоль валов. Направляющие шпонки прикрепляют к валу винтами;

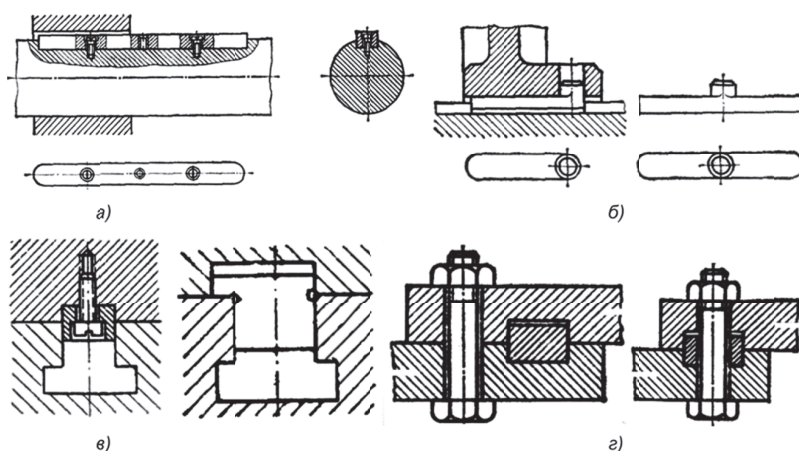


Рис. 7.26. Шпонки направляющие:

а – с креплением на валу; б – скользящие сборные; в – установочные; г – закладные

**скользящие сборные** (рис. 7.26, б), перемещающиеся вдоль вала вместе со ступицами и применяемые вместо направляющих шпонок в тех случаях, когда требуются большие перемещения ступиц по (ГОСТ 12208-86). Скользящие шпонки соединяют со ступицей выступом цилиндрической формы;

**установочные** (рис. 7.26, в, г), **привертные и закладные** для сохранения установки приспособлений и съемных деталей или сборочных единиц, а также для восприятия сдвигающих нагрузок.

Призматическая обыкновенная шпонка, входящая в пазу вала, называется врезной. Примерно половина высоты шпонки расположена в пазу вала и половина – в пазу ступицы (табл. 7.106). Рабочими гранями призматических шпонок служат их боковые, более узкие грани. Для упрощения и облегчения сборки шпоночных соединений между обыкновенной или направляющей шпонкой и ступицей (табл. 7.106 и рис. 7.26, а), а также между скользящей шпонкой и валом (рис. 7.26, б) предусматривают радиальный зазор (по высоте шпонки).

Наиболее распространены призматические обыкновенные шпонки, так как по сравнению с клиновыми шпонками они обеспечивают большую точность посадок ступиц на валах, а по сравнению с сегментными шпонками они врезаются в вал на меньшую глубину и, следовательно, в меньшей степени снижают прочность валов.

Материал для изготовления шпонок – конструкционная углеродистая сталь с пределом прочности не ниже 600 Н/мм<sup>2</sup> марок Ст6, Сталь 45 и Сталь 50 или другая сталь с таким же пределом прочности. Легированную сталь применяют редко. Размеры сечения призматической шпонки  $b \times h$  принимают в зависимости от диаметра вала по данным табл. 7.106. Длину шпонки  $l$  выбирают по длине ступицы, но на 5 – 10 мм меньше ее длины или длины перемещения.

### 7.13.2. Шпонки сегментные

Таблица 7.107

Размеры сечений сегментных шпонок и пазов, (мм), по ГОСТ 24071–97

| Диаметр вала d |    | Размеры шпонки |    |                         |      | Глубина паза |            | Фаска $s \times 45^\circ$ |              |
|----------------|----|----------------|----|-------------------------|------|--------------|------------|---------------------------|--------------|
| исполнение 1   |    | исполнение 2   |    | $b \times h \times d_1$ | l    | S или r      | вала $t_1$ |                           | втулки $t_2$ |
| от             | до | от             | до |                         |      |              |            |                           |              |
| 5              | 6  | 6              | 8  | 2×2,6×7                 | 6,8  | 0,16±0,25    | 1,8        | 1,0                       | 0,08±0,16    |
| 6              | 8  | 8              | 10 | 2×3,7×10                | 9,7  |              | 2,9        | 1,0                       |              |
| 7              | 8  | 10             | 12 | 2,5×3,7×10              | 9,7  |              | 2,7        | 1,2                       |              |
| 8              | 10 | 12             | 15 | 3×5×13                  | 12,6 |              | 3,8        | 1,4                       |              |
| 10             | 12 | 15             | 18 | 3×6,5×16                | 15,7 |              | 5,3        | 1,5                       |              |
| 12             | 14 | 18             | 20 | 4×6,5×16                | 15,7 | 0,25±0,40    | 5,0        | 1,8                       | 0,16±0,25    |
| 14             | 16 | 20             | 22 | 4×7,5×19                | 18,6 |              | 6,0        | 1,8                       |              |
| 16             | 18 | 22             | 25 | 5×6,5×16                | 15,7 |              | 4,5        | 2,3                       |              |
| 18             | 20 | 25             | 28 | 5×7,5×19                | 18,6 |              | 5,5        | 2,3                       |              |
| 20             | 22 | 28             | 32 | 5×9×22                  | 21,6 |              | 7,0        | 2,3                       |              |
| 22             | 25 | 32             | 36 | 6×9×22                  | 21,6 |              | 6,5        | 2,8                       |              |
| 25             | 28 | 36             | 40 | 6×10×25                 | 24,5 |              | 7,0        | 3,3                       |              |
| 28             | 32 | 40             |    | 8×11×28                 | 27,3 |              | 8,0        | 3,3                       |              |
| 32             | 38 |                |    | 10×13×32                | 31,4 |              | 10,0       | 3,3                       |              |
| 38             | 44 |                |    | 12×19×65                | 59,4 |              | 16,0       | 3,3                       |              |

**Примечания:**  
 1. Материал шпонок – сталь чистотянутая по ГОСТ 8786-68,  $\sigma_n > 590$  МПа.  
 2. В зависимости от принятой базы обработки на рабочем чертеже указывают размер  $t_1$  для вала (предпочтительный вариант) или  $D - t_1$ ; для втулки – размер  $D + t_2$   
 3. Исполнение 1 – для передачи вращающего момента; исполнение 2 – для фиксации детали (в случае неподвижной посадки, когда передача момента осуществляется за счет трения).

**Возможные варианты применения сегментных шпонок.** Допускается в технически обоснованных случаях (пустотелые и ступенчатые валы, для передачи пониженных вращающих моментов и т.п.) применять меньшие, чем указанные в табл. 7.107, размеры шпонок на валах больших диаметров, за исключением выходных концов валов.

Допускается для неотчетливых соединений сопряжение дна паза с боковыми стенками выполнять с фаской под углом 45°, равной радиусу R.

Допускается свободное соединение шпонки с валом и втулкой. Предельные отклонения при свободном соединении ширины паза  $b$  должны соответствовать полям допусков для вала – Н9, для втулки – D10.

Допускаются для ширины паза  $b$  вала и втулки любые сочетания полей допусков, указанные в табл. 7.111.

Для термообработанных деталей допускаются предельные отклонения размера ширины паза вала, соответствующие полю допуска Н11, размера ширины паза втулки – D10.

Исполнение 2 (табл. 7.107) может применяться также для неотчетливых соединений (при передаче малых вращающих моментов с небольшой частотой вращения, не влияющих на долговечность деталей; при кратковременной работе соединения и т.д.).

Допускается в зависимости от принятой базы обработки и измерения указывать вместо  $t_1$  на рабочем чертеже номинальный размер для вала  $d - t_1$  с предельным отклонением для  $t_1$  по табл. 7.111 и для втулки вместо  $t_2$  размер  $d - t_2$  с предельным отклонением для  $t_2$  по табл. 7.111.

Параметры шероховатости поверхности элементов шпоночных соединений приведены в табл. 7.108.

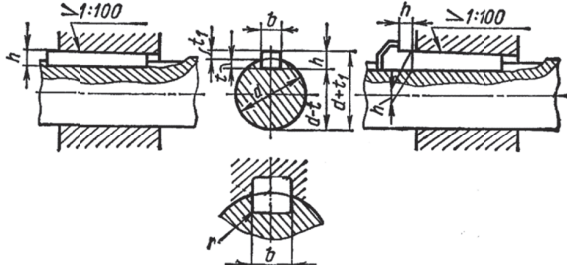
Зависимость параметров шероховатости поверхности шпоночных соединений от допуска и размера

| Допуск размера по квалитетам | Ra, мкм, не более, для номинальных размеров, мм |              |               |                |
|------------------------------|---|--------------|---------------|----------------|
|                              | до 18   | св. 18 до 50 | св. 50 до 120 | св. 120 до 500 |
| IT9                          | 3,2   | 3,2          | 6,3           | 6,3            |
| IT10                         | 3,2   | 6,3          | 6,3           | 6,3            |
| IT11                         | 6,3   | 6,3          | 12,5          | 12,5           |
| IT12, IT13                   | 12,5  | 12,5         | 25            | 25             |
| IT14, IT15                   | 12,5  | 25           | 50            | 50             |

**Примечания:**

1. Параметр шероховатости поверхностей с неуказанными предельными отклонениями – Ra 20 мкм.
2. Параметр шероховатости дна шпоночного паза рекомендуется принимать равным Ra 6,3 мкм.

Размеры сечений клиновых шпонок и пазов, (мм), по ГОСТ 24068–80



| Диаметр вала, d | Сечение шпонки b × h | Шпоночный паз |                    |         | радиус или фаска |
|-----------------|----------------------|---------------|--------------------|---------|------------------|
|                 |                      | ширина b      |                    | глубина |                  |
|                 |                      | вал и втулка  | вал t <sub>1</sub> |         |                  |
| От 10 до 12     | 4 × 4                | 4             | 2,5                | 1,2     | 0,08 ÷ 0,16      |
| Св. 12 до 17    | 5 × 5                | 5             | 3,0                | 1,7     | 0,16 ÷ 0,25      |
| Св. 17 до 22    | 6 × 6                | 6             | 3,5                | 2,2     |                  |
| Св. 44 до 50    | 14 × 9               | 14            | 5,5                | 2,9     | 0,25 ÷ 0,40      |
| Св. 58 до 65    | 18 × 11              | 18            | 7,0                | 3,4     |                  |
| Св. 65 до 75    | 20 × 12              | 20            | 7,5                | 3,9     | 0,70 ÷ 1,00      |
| Св. 150 до 170  | 40 × 22              | 40            | 13                 | 8,1     |                  |

**7.13.3. Шпонки клиновые забивные**

Шпонки клиновые забивные (табл. 7.109) выполняют с плоскими торцами либо один торец делают плоским, а другой – скругленным. Клиновая шпонка имеет уклон верхней грани 1:100 и монтируется между валом и деталью ударами молотка (забивная шпонка) или затягивается насаживаемой на вал деталью (закладная шпонка), что и обеспечивает напряженность соединения.

Рабочими поверхностями клиновых шпонок являются верхняя и нижняя широкие грани (между боковыми узкими гранями и канавкой в ступице имеется зазор – это нерабочие грани).

Клиновые шпоночные соединения бывают врезные, на лыске и фрикционные.

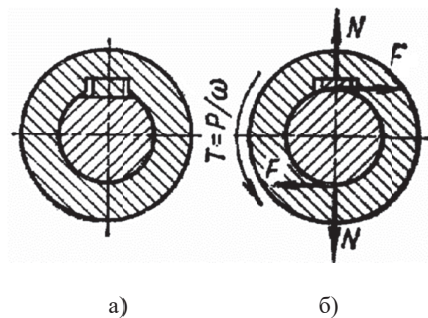


Рис. 7. 27. Клиновые забивные шпонки: а – на лыске; б – фрикционные



Для врезных шпонок на вал выполняется паз в виде плоской канавки, а в детали (втулке) прорезается канавка с уклоном 1:100. Для шпонок на лыске (рис. 7.27, а) канавка с уклоном 1:100 выполняется только в ступице детали, а на валу делается плоский срез – «лыска». При установке фрикционных шпонок канавку с уклоном 1:100 выполняют только в детали, вал не обрабатывают, а поверхность шпонки, прилегающую к валу, выполняют углубленной по радиусу вала (рис. 7.27, б). Такое соединение позволяет установить колесо в любом месте вала, облегчая регулировку и не ослабляя шпоночной канавкой вал.

#### 7.13.4. ДОПУСКИ И ПОСАДКИ ШПОНОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Таблица 7.110

**Предельные отклонения размеров соединений с призматическими шпонками и рекомендуемые посадки по ГОСТ 24071-97**

| Параметр  |        | Поле допуска |                       |
|---|--------|--------------|-----------------------|
| Высота шпонки, h  |        | h9, h11      |                       |
| Глубина пазов вала, t <sub>1</sub> и втулки, t <sub>2</sub>                     |        | H12, H14     |                       |
| Длина шпонки, l   |        | h14          |                       |
| Длина паза под шпонку на валу   |        | H15          |                       |
| Параллельность паза вала на длине паза  |        | 0,5T         |                       |
| Симметричность при одном пазе   |        | 2,0T         |                       |
| Симметричность при двух пазах   |        | 0,5T         |                       |
| <i>Примечание.</i> T – поле допуска на ширину шпоночного паза.                  |        |              |                       |
| Поле допуска на ширину шпонки и паза, b, в зависимости от вида соединения       |        |              |                       |
| Вид соединения  | Шпонки | Паз вала (T) | Паз втулки            |
| Свободное   | h9     | H9           | D10                   |
| Нормальное  | h9     | N9           | J <sub>s</sub> 9      |
| Плотное   | h9     | P9           | P9                    |
| Подвижное   | e8     | P9, N9       | J <sub>s</sub> 9, D10 |
| <i>Примечание.</i> Допускаются любые сочетания приведенных выше полей допусков. |        |              |                       |
| Назначение посадок  |        | Паз вала     | Паз втулки            |
| Для единичного и серийного производства   |        | P9           | J <sub>s</sub> 9      |
| Для серийного и массового производства  |        | N9           | D10, J <sub>s</sub> 9 |
| Для направляющих шпонок   |        | H9, N9       | D10                   |

Таблица 7.111

**Предельные отклонения размеров соединений с сегментными шпонками и рекомендуемые посадки по ГОСТ 24071-97**

| Параметр  |        | Поле допуска         |                  |
|---|--------|----------------------|------------------|
| Высота шпонки, h  |        | h11                  |                  |
| Диаметр шпонки, d   |        | H12                  |                  |
| Глубина паза вала, t <sub>1</sub>   |        | при d вала до 12 мм  | +0,1             |
|   |        | при d вала до 28 мм  | +0,2             |
|   |        | при d вала св. 28 мм | +0,3             |
| Глубина паза втулки, t <sub>2</sub>                                       |        | при d вала до 40 мм  | +0,1             |
|   |        | при d вала св. 40 мм | +0,2             |
| Параллельность паза вала на длине паза                                    |        | 0,5T                 |                  |
| Симметричность паза   |        | 2,0T                 |                  |
| <i>Примечание.</i> T – поле допуска на ширину шпоночного паза.            |        |                      |                  |
| Поле допуска на ширину шпонки и паза, b, в зависимости от вида соединения |        |                      |                  |
| Вид соединения  | Шпонки | Паз вала (T)         | Паз втулки       |
| Свободное   | h9     | H9                   | D10              |
| Нормальное  | h9     | N9                   | J <sub>s</sub> 9 |
| Плотное   | h9     | P9                   | P9               |

Предельные отклонения размеров соединений с клиновыми шпонками и рекомендуемые посадки по ГОСТ 24068-80

| Параметр  |        | Поле допуска |                       |
|---|--------|--------------|-----------------------|
| Высота шпонки, h  |        | h9, h11      |                       |
| Глубина пазов вала, $t_1$ и втулки, $t_2$                                       |        | H12, H14     |                       |
| Длина шпонки, l   |        | h14          |                       |
| Длина паза под шпонку на валу   |        | H15          |                       |
| Параллельность паза вала на длине паза  |        | 0,5T         |                       |
| Симметричность при одном пазах  |        | 2,0T         |                       |
| Симметричность при двух пазах   |        | 0,5T         |                       |
| <i>Примечание.</i> T – поле допуска на ширину шпоночного паза.                  |        |              |                       |
| Поле допуска на ширину шпонки и паз, b, в зависимости от вида соединения        |        |              |                       |
| Вид соединения  | Шпонки | Паз вала (T) | Паз втулки            |
| Свободное   | h9     | D10          | D10                   |
| Нормальное  | h9     | N9           | J <sub>s</sub> 9      |
| Плотное   | h9     | P9           | P9                    |
| Подвижное   | e8     | P9, N9       | J <sub>s</sub> 9, D10 |
| <i>Примечание.</i> Допускаются любые сочетания приведенных выше полей допусков. |        |              |                       |
| Назначение посадок  |        | Паз вала     | Паз втулки            |
| Для единичного и серийного производства   |        | P9           | J <sub>s</sub> 9      |
| Для серийного и массового производства  |        | N9           | D10, J <sub>s</sub> 9 |

Предельные отклонения размеров соединений с тангенциальными шпонками и рекомендуемые посадки по ГОСТ 24069-97

| Параметр  |  | Поле допуска         |  |
|---|--|----------------------|--|
| Толщина шпонки, h   |  | h11                  |  |
| Глубина паза вала, $t_1$<br>при d вала до 150 мм              |  | +0,2                 |  |
| при d вала св. 150 мм   |  | +0,3                 |  |
| Глубина паза втулки, $t_2$<br>при d вала до 150 мм            |  | -0,2                 |  |
| при d вала св. 150 мм   |  | -0,3                 |  |
| Предельные отклонения угла уклона шпонки                      |  | $\pm \frac{AT10}{2}$ |  |
| Параллельность паза вала на длине паза                        |  | 0,5T                 |  |
| Симметричность при одном пазах                                |  | 2,0T                 |  |
| Симметричность при двух пазах                                 |  | 0,5T                 |  |
| <i>Примечание.</i> T – поле допуска на ширину шпоночного паза |  |                      |  |

### 7.13.5. ШПОНКИ ТАНГЕНЦИАЛЬНЫЕ

Тангенциальные шпонки (рис.7.28), как и клиновые, создают натяг между валом и ступицей. От клиновых они отличаются тем, что создают натяг не в радиальном, а в касательном к валу направлении. Поэтому для передачи вращающего момента в противоположных направлениях приходится устанавливать не одну, а две шпонки под углом 120...135° относительно друг друга.

Тангенциальная шпонка состоит из двух односкосных клиньев с уклоном 1:100, создаваемых на узкой стороне и устанавливаемых встречно на валах с диаметром шейки свыше 60 мм.

Размеры и предельные отклонения размеров тангенциальных шпонок и шпоночных пазов приведены в табл. 7.113 и 7.114 ÷ 7.116.

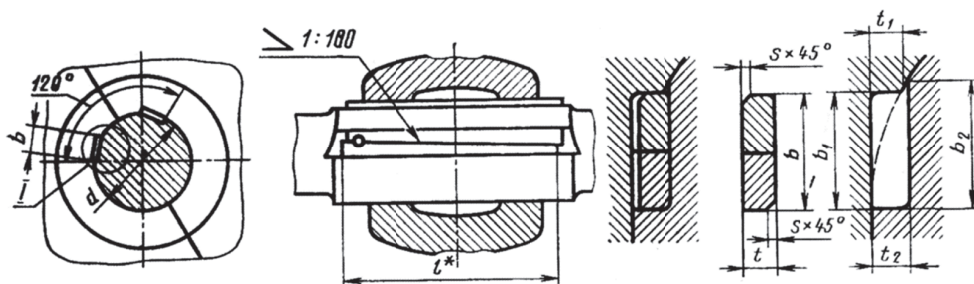


Рис. 7.28. Тангенциальные шпонки

Размеры тангенциальных шпонок и шпоночных пазов, (мм)

| Вал<br><i>d</i> | Шпонка   |          |          | Шпоночный паз         |                       |                       |                       |          |      |         |       |
|-----------------|----------|----------|----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------|------|---------|-------|
|                 | <i>t</i> | <i>b</i> | <i>s</i> | <i>t</i> <sub>1</sub> | <i>t</i> <sub>2</sub> | <i>b</i> <sub>1</sub> | <i>b</i> <sub>2</sub> | <i>R</i> |      |         |       |
| 60              | 7        | 19,3     | 0,6÷0,8  | 7                     | 7,3                   | 19,3                  | 19,6                  | 0,4÷0,6  |      |         |       |
| 63              |          | 19,8     |          |                       |                       | 20,2                  |                       |          |      |         |       |
| 65              |          | 20,1     |          |                       |                       | 20,5                  |                       |          |      |         |       |
| 70              |          | 21,0     |          |                       |                       | 21,4                  |                       |          |      |         |       |
| 71              | 8        | 22,5     |          | 8                     | 8,3                   | 22,5                  | 22,8                  |          |      |         |       |
| 75              |          | 23,2     |          |                       |                       | 23,5                  |                       |          |      |         |       |
| 80              |          | 24,0     |          |                       |                       | 24,4                  |                       |          |      |         |       |
| 85              |          | 24,8     |          |                       |                       | 25,2                  |                       |          |      |         |       |
| 90              | 9        | 25,6     |          | 9                     | 9,3                   | 25,6                  | 26,0                  |          |      |         |       |
| 95              |          | 27,8     |          |                       |                       | 28,2                  |                       |          |      |         |       |
| 100             |          | 28,6     |          |                       |                       | 29,0                  |                       |          |      |         |       |
| 110             | 10       | 30,1     |          | 1,0÷1,2               | 10                    | 10,3                  | 30,1                  |          | 30,6 | 0,7÷1,0 |       |
| 120             |          | 33,2     | 33,6     |                       |                       |                       |                       |          |      |         |       |
| 125             |          | 33,9     | 34,4     |                       |                       |                       |                       |          |      |         |       |
| 130             |          | 34,6     | 35,1     |                       |                       |                       |                       |          |      |         |       |
| 140             |          | 11       | 37,7     |                       |                       |                       | 11                    | 11,4     | 37,7 |         | 38,3  |
| 150             |          |          | 39,1     |                       |                       |                       |                       |          | 39,7 |         |       |
| 160             |          | 12       | 42,1     |                       |                       |                       | 12                    | 12,4     | 42,1 |         | 42,8  |
| 170             |          |          | 43,5     |                       |                       |                       |                       |          | 44,2 |         |       |
| 180             | 44,9     |          | 45,6     |                       |                       |                       |                       |          |      |         |       |
| 190             | 14       |          | 49,6     | 14                    | 14,4                  | 49,6                  |                       |          | 50,3 |         |       |
| 200             |          | 51,0     | 51,7     |                       |                       |                       |                       |          |      |         |       |
| 220             | 16       | 57,1     | 1,6÷2,0  | 16                    | 16,4                  | 57,1                  | 57,8                  | 1,2÷1,6  |      |         |       |
| 240             |          | 59,9     |          |                       |                       | 60,6                  |                       |          |      |         |       |
| 250             | 18       | 64,6     |          | 18                    | 18,4                  | 64,6                  | 65,3                  |          |      |         |       |
| 260             |          | 66,0     |          |                       |                       | 66,7                  |                       |          |      |         |       |
| 280             | 20       | 72,1     |          | 2,5÷3,0               | 20                    | 20,4                  | 72,1                  |          | 72,8 | 2,0÷2,5 |       |
| 300             |          | 74,8     |          |                       |                       |                       | 75,5                  |          |      |         |       |
| 320             | 22       | 81,0     | 22       |                       | 22,4                  | 81,0                  | 81,6                  |          |      |         |       |
| 340             |          | 83,6     |          |                       |                       | 84,3                  |                       |          |      |         |       |
| 360             | 26       | 93,2     | 26       |                       | 26,4                  | 93,2                  | 93,8                  |          |      |         |       |
| 380             |          | 95,9     |          |                       |                       | 96,6                  |                       |          |      |         |       |
| 400             |          | 98,6     |          |                       |                       | 99,3                  |                       |          |      |         |       |
| 420             |          | 108,2    |          |                       |                       | 108,8                 |                       |          |      |         |       |
| 440             | 30       | 110,9    | 3,0÷4,0  | 30                    | 30,4                  | 110,9                 | 111,6                 | 2,5÷3,0  |      |         |       |
| 450             |          | 112,3    |          |                       |                       | 112,9                 |                       |          |      |         |       |
| 460             |          | 113,6    |          |                       |                       | 114,3                 |                       |          |      |         |       |
| 480             |          | 34       |          |                       |                       | 123,1                 | 34                    |          | 34,4 | 123,1   | 123,8 |
| 500             | 125,9    |          | 126,6    |                       |                       |                       |                       |          |      |         |       |

*Примечание.* Обозначения в таблице: *t* – толщина шпонки; *t*<sub>1</sub> – глубина шпоночного паза во втулке; *t*<sub>2</sub> – глубина шпоночного паза на валу; *b* = *b*<sub>1</sub> – ширина шпонки и шпоночного паза во втулке; *b*<sub>2</sub> – шпоночного паза на валу.

Для промежуточных размеров диаметров валов, приведенных в табл. 7.113, принимают те размеры шпонок и пазов, которые соответствуют следующему большему диаметру вала.

Когда передача работает с сильными ударами или когда направление вращения часто меняется, рекомендуют применять шпонку большего сечения.

Размеры тангенциальных шпонок и шпоночных пазов в данном случае вычисляют следующим образом:

$$t = 0,1d; t_1 = t; b = \sqrt{t(d-t)} = 0,3d; t_2 = t + 0,3\text{мм (для } t \leq 10\text{мм)};$$

$$t_2 = t + 0,4\text{ мм (для } 10\text{ мм} < t \leq 45\text{ мм)}; t_2 = t + 0,5\text{мм (для } t > 45\text{мм)}; b_1 = b = \sqrt{t(d-t)} = 0,3d;$$

$$b_2 = \sqrt{t_2(d-t_2)}; s \text{ и } R \text{ – по табл. 7.115.}$$

Длину шпонки рекомендуют выбирать на 10-15 % больше длины втулки.

Значения толщины  $t$  и фаски  $s$  шпонки и радиуса  $R$  шпоночного паза, мм

| t   |    | s        |          | R        |          |
|-----|----|----------|----------|----------|----------|
| св. | до | не менее | не более | не более | не менее |
| –   | 9  | 0,6      | 0,8      | 0,6      | 0,4      |
| 9   | 14 | 1,0      | 1,2      | 1,0      | 0,7      |
| 14  | 18 | 1,6      | 2,0      | 1,6      | 1,2      |
| 18  | 26 | 2,5      | 3,0      | 2,5      | 2,0      |
| 26  | 42 | 3,0      | 4,0      | 3,0      | 2,5      |
| 42  | 56 | 4,0      | 5,0      | 4,0      | 3,0      |
| 56  | 63 | 5,0      | 6,0      | 5,0      | 4,0      |

Таблица 7.116

Зависимость параметров шероховатости поверхности шпонки и паза от допусков размера

| Допуск размера по квалитетам | Ra, мкм, не более, для номинальных размеров, мм |              |               |                |
|------------------------------|---|--------------|---------------|----------------|
|                              | до 18   | св. 18 до 50 | св. 50 до 120 | св. 120 до 500 |
| IT 9                         | 3,2   | 3,2          | 6,3           | 6,3            |
| IT 10                        | 3,2   | 6,3          | 6,3           | 6,3            |
| IT 11                        | 6,3   | 6,3          | 12,5          | 12,5           |
| IT 12 / IT 13                | 12,5  | 12,5         | 25            | 25             |
| IT 14 / IT 15                | 12,5  | 25           | 50            | 50             |

Тангенциальные шпонки соединяют с усилием, обычно ударами молотка, и этим создают напряженное соединение. Шпонки работают на сжатие. Расчет таких шпонок ведут при нагрузке на одну шпонку, так как каждая шпонка работает для передачи вращающего момента только в одну сторону (рис. 7.29).

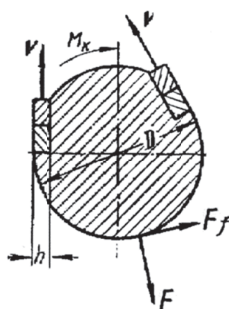


Рис. 7.29. Нагрузки в шпоночном соединении с тангенциальными шпонками

Момент, передаваемый соединением, без учета трения, вызванного затяжкой шпонок

$$M_k \leq 0,5hl(D-h) [\sigma_{см}].$$

Момент, передаваемый соединением, с учетом трения

$$M_k = hl\sigma_{см} x + F_f(D/2),$$

где  $x \approx 0,5(D - h)$ ;  $\sigma_{см}$  – напряжение смятия на узкой грани шпонки от передаваемого момента;  $F$  – сила давления ступицы на вал от затяжки шпонок, зависящая от степени затяжки и относительного расположения шпонок по окружности вала ступицы;

$F \approx 1,4hl\sigma_{см}$  – если шпонки расположены под углом  $90^\circ$ ;

$F \approx 1,7hl\sigma'_{см}$  – если шпонки расположены под углом  $120^\circ$ ;

$F \approx 2hl\sigma'_{см}$  – если шпонки расположены под углом  $180^\circ$ ;

$\sigma'_{см}$  – напряжение смятия на узкой грани от затяжки шпонки.

Условие прочности

$$(\sigma'_{см} + \sigma_{см}) \leq [\sigma_{см}].$$

$$F = hl\sigma'_{см}.$$

### 7.13.6. ТОРЦОВАЯ ШПОНКА

Рабочие грани проверяются на смятие, долевое сечение, лежащее в плоскости стыка фланцев вала, на срез (рис. 7.30, а).

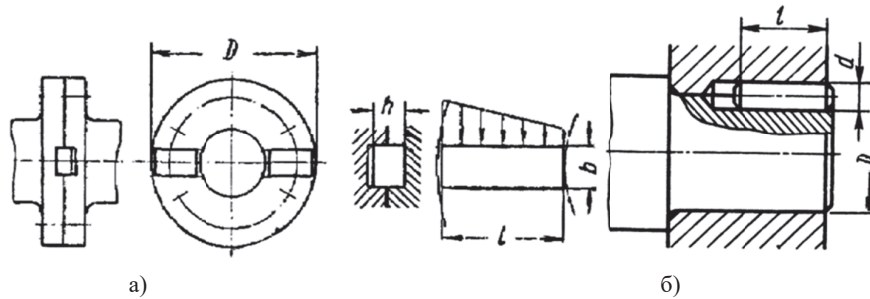


Рис. 7.30. Торцовая (а) и цилиндрическая (б) шпонки

Момент, передаваемый соединением:

а) по прочности рабочих граней на смятие

$$M_k \approx 0,5Dhl \left(1 - \frac{l}{D}\right)^2 [\sigma_{см}];$$

б) по прочности сечения на срез

$$M_k \approx 0,5Db l(D-l) [\tau_{ср}].$$

### 7.13.7. ШПОНКА ЦИЛИНДРИЧЕСКАЯ

Диаметральное сечение проверяется на срез, боковая поверхность – на смятие (рис. 7.30, б).

Момент, передаваемый соединением:

а) по прочности диаметрального сечения на срез

$$M_k \approx 0,5Ddl [\tau_{ср}];$$

б) по прочности боковой поверхности на смятие

$$M_k \approx 0,2Ddl [\sigma_{см}].$$

### 7.13.8. МАТЕРИАЛЫ ШПОНОК И ДОПУСКАЕМЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ

Шпонки изготовляют из холоднокатанной стали с временным сопротивлением разрыву  $\sigma_b$  не менее  $[\sigma_b] \geq 500$  МПа. (Сталь 40, 45 и 50). Легированные стали применяют для специальных шпонок.

Допускаемые напряжения на смятие для неподвижных шпоночных соединений принимают в зависимости от предела текучести материала шпонки:

для неподвижных соединений  $[\sigma_{см}] \approx (0,3 \div 0,5)\sigma_T$ ;

для подвижных соединений  $[\sigma_{см}] \approx (0,1 \div 0,2)\sigma_T$ ;

$[\tau_{ср}] \approx (0,2 \div 0,3)\sigma_T$ , где  $\sigma_T$  – предел текучести материала шпонки;

$[\sigma]_{см} = \sigma_T / [s]$ , где  $[s]$  – допускаемый коэффициент запаса прочности;

$[s] = 1,9 \dots 2,3$  при постоянной неререверсивной нагрузке;

$[s] = 2,9 \dots 3,5$  при переменной неререверсивной нагрузке;

$[s] = 3,5 \dots 4,5$  при реверсивной нагрузке;

$[\sigma]_{см} = 70 \dots 100$  МПа при чугунных ступицах.

Допускаемые напряжения в зависимости от прочности материалов вала и ступицы и от режима работы выбирают в пределах  $[\sigma_{см}] = 60 \dots 150$  МПа (меньшие значения для чугунных ступиц и при неравномерной и ударной нагрузке, большие – для стальных ступиц).

Для подвижных шпоночных соединений в целях предупреждения задира и ограничения износа допускаемые напряжения смятия  $[\sigma]_{см}$  уменьшают в 3...4 раза.

Допускаемые напряжения на срез для шпонок принимают в пределах  $[\tau]_{ср} = 60 \dots 100$  МПа (меньшие значения берут при динамических нагрузках).

Если в результате проверки шпонка окажется недостаточно прочной, то увеличивают длину шпонки (если позволяет длина ступицы), или вместо одной шпонки устанавливают две под углом  $120^\circ$ , или, в крайнем случае, увеличивают диаметр вала и соответственно размер шпонки.

Проверка соединения на смятие:

$$\sigma_{см} = \frac{F_t}{A_{см}} = \frac{2T_k}{d(h-t_1)l_p} \leq [\sigma_{см}]; \text{ МПа},$$

где  $F_t$  – окружная сила, Н;  $A_{см}$  – площадь смятия, мм<sup>2</sup>;  $T_k$  – крутящий момент, Н·мм;  $d$  – диаметр вала, мм;  $h$  – высота шпонки, мм;  $t_1$  – глубина паза на валу, мм;  $l_p$  – расчетная длина шпонки, мм (при скругленных торцах  $l_p = l - b$ , при плоских  $l_p = l$ );  $[\sigma_{см}]$  – допустимые напряжения смятия, МПа.

Соединение клиновыми шпонками проверяют на смятие поверхностей контакта шпонки и ступицы по формуле

$$\sigma_{см} = \frac{12T_k}{bl(b+6fd)} \leq [\sigma_{см}],$$

где  $T_k$  – передаваемый шпоночным соединением момент, Н·мм;  $b$  – ширина шпонки, мм;  $l$  – длина рабочей части шпонки, мм;  $d$  – диаметр вала, мм;  $f=0,1\dots0,15$  – коэффициент трения;  $[\sigma_{см}]$  – допустимое напряжение смятия, МПа.

Прочность ответственного шпоночного соединения проверяют на напряжения среза

$$\tau_{ср} = \frac{2T_k}{dbl_p} \leq [\tau_{ср}]; \text{ МПа},$$

где  $b$  – ширина шпонки, мм;  $[\tau_{ср}]$  – допустимое напряжение на срез, МПа.

#### Пример.

Подобрать призматическую шпонку для соединения стального зубчатого колеса с валом диаметром  $d=55$  мм, передающего вращающий момент  $T=600$  Нм. Длина ступицы зубчатого колеса 70 мм. Нагрузка постоянная реверсивная.

#### Вычисление

По справочнику находим призматические шпонки, по заданному диаметру 55 мм вала выбираем шпонку с размерами:  $b = 16$  мм,  $h = 10$  мм,  $t_1=6$  мм (исполнение А). Учитывая длину ступицы, из стандартного ряда выбираем длину шпонки  $l=63$  мм;

расчетная длина  $l_p$

$$l_p = l - b = 63 - 16 = 47 \text{ мм}.$$

Принимая материал шпонки Сталь 45 с пределом текучести  $\sigma_t = 350$  МПа, определим допускаемое напряжение по таблице

$$[\sigma]_{см} = \sigma_t / [s] = 350/2,5 = 140 \text{ МПа}.$$

Проверяем соединение на смятие:

$$\sigma_{см} = \frac{F_t}{A_{см}} = \frac{2T_k}{d(h-t_1)l_p} = \frac{2 \cdot 600}{55 \cdot 10^{-3} (10-6) \cdot 10^{-3} \cdot 47 \cdot 10^{-3}} = 116 \cdot 10^6 \text{ Па} = 116 \text{ МПа} \leq [\sigma_{см}] = 140 \text{ МПа}.$$

Прочность шпоночного соединения обеспечена при условии

$$\tau_{ср} = \frac{2T_k}{dbl_p} = \frac{2 \cdot 600}{55 \cdot 16 \cdot 47} \approx 25 \text{ МПа} \leq [\tau_{ср}] = 60 \text{ МПа}.$$



## 7.14. ШЛИЦЕВЫЕ ТРЕУГОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ, ММ

Шлицевые треугольные соединения применяются, главным образом, для неподвижных соединений при передаче небольших крутящих моментов. Чаще всего употребляются с целью избежать прессовых посадок, а также при тонкостенных втулках.

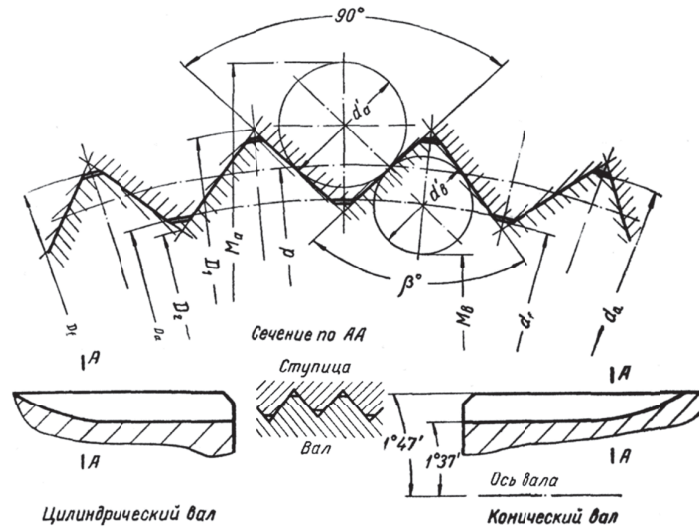


Рис. 7.31. Профиль треугольных шлицевых соединений

Основные параметры соединений этого типа:

число зубьев от 20 до 70; модуль от 0,2 до 1,5 мм; угол впадин вала 90, 72 и 60°. Наибольшее распространение получили треугольные шлицевые соединения с углом впадин зуба на валу 90°.

$\beta^\circ$  – угол зуба вала и впадины отверстия;

$d_a$  – наружный диаметр вала;

$d_f$  – диаметр впадин вала;

$D_a$  – внутренний диаметр отверстия;

$D_f$  – диаметр впадин отверстия;

$d$  – делительный диаметр.

Центрирование – только по боковым сторонам зубьев (рис. 7.31).

Формулы для определения геометрических параметров треугольного шлицевого соединения в табл. 7.117.

За основную расчетную величину принят делительный диаметр начальной окружности  $d$ , который делит пополам теоретическую высоту зубьев по вершинам профиля.

За номинальный размер соединения принят наружный диаметр вала  $d_a$ .

Номинальные размеры диаметров деталей соединения приведены в табл. 7.118.

Наиболее технологичным является центрирование по наружному диаметру вала, применяемому при невысокой твердости внутренней поверхности ступицы (HB<350).

Теоретические диаметры по вершинам профиля – наружный  $D_1$  и внутренний  $D_2$  – служат для вычисления размеров по проволочкам для вала и отверстия и размеров инструмента (протяжек, фрез и калибров).

Размеры по проволочкам, подсчитанные по этим диаметрам, дают в соединении вала и отверстия нулевой зазор.

Номинальные размеры между проволочками и по проволочкам приведены в табл. 7.119.

Допускается нарезка зубьев вала червячной фрезой; притом боковые поверхности зубьев имеют эвольвентный профиль, который, благодаря малой высоте зубьев и большому углу зацепления, незначительно отличается от прямого профиля и разница эта в расчет не принимается.

Для конических соединений за номинальные размеры принимаются размеры вала с конусностью 1:16 в начале выхода фрезы (рис. 7.31, сечение А-А). Угол дна впадины и наклон фрезы  $1^\circ 37'$ .

Формулы для определения геометрических параметров треугольного шлицевого соединения

| Параметры деталей зацепления   | Формулы   |                                      |
|--|---|--------------------------------------|
|  | для 36 зубьев                                   | для 48 зубьев                        |
| Делительный диаметр  | $d = 0,954519D_1$                               | $d = 0,966222 D_1$                   |
| Наружный диаметр по вершинам (теоретический)   | $D_1 = 1,047648d$                               | $D_1 = 1,034959d$                    |
| Внутренний диаметр по вершинам (теоретический)                                       | $D_2 = 0,952352d$                               | $D_3 = 0,965041d$                    |
| Расчетный диаметр проволочки, касающейся профиля зубьев по начальной окружности вала | $d_1 = 0,06585005d$                             | $d_1 = 0,0485955d$                   |
| То же – для отверстия  | $d_2 = 0,05309792d$                             | $d_2 = 0,04133332d$                  |
| Фактический диаметр проволочки для вала и для отверстия                              | $d'_a$ и $d'_B$ (подбираются по ГОСТ 2475 – 88) |                                      |
| Размер по проволочкам для вала   | $M_a = D_2 + 2,41421 d'_a$                      |                                      |
| Размер между проволочками для отверстия  | $M_B = D_1 - 2,55572 d'_B$                      | $M_B = D_1 - 2,51665 d'_B$           |
| Диаметр касания фактической проволочки вала  | $D_{II} = D_2 + 0,70711 d'_a + 0,001 d$         |                                      |
| Диаметр касания фактической проволочки отверстия                                     | $D_T = D_1 - 0,91293 d'_B + 0,001 d$            | $D_T = D_1 - 0,85733 d'_B + 0,001 d$ |

Таблица 7.118

Номинальные размеры диаметров деталей соединения, (мм)

| $d_a$ | Отверстие и вал  |                    |                    |                 |                   | Отверстие                  |                          | Вал                    |                            |
|-------|------------------|--------------------|--------------------|-----------------|-------------------|----------------------------|--------------------------|------------------------|----------------------------|
|       | число зубьев $z$ | угол $\beta^\circ$ | делит. диаметр $d$ | наружный* $D_1$ | внутренний* $D_2$ | диаметр впадин $D_{f\min}$ | внутренний диаметр $D_a$ | наружный диаметр $d_a$ | диаметр впадин $d_{f\max}$ |
| 5     | 36               | 80                 | 4,891              | 5,124           | 4,658             | 5,03                       | 4,72                     | 5                      | 4,69                       |
| 6     | 36               | 80                 | 5,863              | 6,142           | 5,584             | 6,03                       | 5,66                     | 6                      | 5,63                       |
| 8     | 36               | 80                 | 7,793              | 8,164           | 7,422             | 8,03                       | 7,52                     | 8                      | 7,49                       |
| 10    | 36               | 80                 | 9,721              | 10,184          | 9,258             | 10,03                      | 9,38                     | 10                     | 9,35                       |
| 12    | 36               | 80                 | 11,674             | 12,230          | 11,118            | 12,03                      | 11,26                    | 12                     | 11,23                      |
| 15    | 36               | 80                 | 14,556             | 15,250          | 13,862            | 15,03                      | 14,04                    | 15                     | 14,01                      |
| 18    | 36               | 80                 | 17,430             | 18,260          | 16,599            | 18,03                      | 16,81                    | 18                     | 16,78                      |
| 20    | 36               | 80                 | 19,339             | 20,260          | 18,418            | 20,03                      | 18,66                    | 20                     | 18,63                      |
| 22    | 48               | 82,5               | 21,527             | 22,280          | 20,774            | 22,03                      | 20,97                    | 22                     | 20,94                      |
| 25    | 48               | 82,5               | 24,455             | 25,310          | 23,600            | 25,03                      | 23,82                    | 25                     | 23,79                      |
| 28    | 48               | 82,5               | 27,373             | 28,330          | 26,416            | 28,03                      | 26,66                    | 28                     | 26,63                      |
| 30    | 48               | 82,5               | 29,325             | 30,350          | 28,300            | 30,03                      | 28,57                    | 30                     | 28,54                      |
| 32    | 48               | 82,5               | 31,277             | 32,370          | 30,184            | 32,05                      | 30,47                    | 32                     | 30,42                      |
| 35    | 48               | 82,5               | 34,195             | 35,390          | 33,000            | 35,05                      | 33,31                    | 35                     | 33,26                      |
| 38    | 48               | 82,5               | 37,113             | 38,410          | 35,816            | 38,05                      | 36,15                    | 38                     | 36,10                      |
| 40    | 48               | 82,5               | 39,064             | 40,430          | 37,698            | 40,05                      | 38,05                    | 40                     | 38,00                      |
| 42    | 48               | 82,5               | 41,016             | 42,450          | 39,582            | 42,05                      | 39,95                    | 42                     | 39,90                      |
| 45    | 48               | 82,5               | 43,944             | 45,480          | 42,408            | 45,05                      | 42,81                    | 45                     | 42,76                      |
| 50    | 48               | 82,5               | 48,833             | 50,540          | 47,126            | 50,05                      | 47,57                    | 50                     | 47,52                      |
| 55    | 48               | 82,5               | 53,722             | 55,600          | 51,844            | 55,05                      | 52,33                    | 55                     | 52,28                      |
| 60    | 48               | 82,5               | 58,621             | 60,670          | 56,572            | 60,05                      | 57,10                    | 60                     | 57,05                      |
| 65    | 43               | 82,5               | 63,519             | 65,740          | 61,298            | 65,05                      | 61,88                    | 65                     | 61,83                      |
| 70    | 48               | 82,5               | 68,409             | 70,800          | 66,017            | 70,05                      | 66,64                    | 70                     | 66,59                      |
| 75    | 48               | 82,5               | 73,298             | 75,860          | 70,736            | 75,05                      | 71,40                    | 75                     | 71,35                      |

Примечание. \* Теоретические диаметры по вершинам: наружный  $D_1$  указывается только для отверстия, внутренний  $D_2$  – только для вала.

**Допускаемые отклонения размеров.** Допуск на толщину зуба отверстия, при угле  $90^\circ$ , равен допуску на делительный диаметр окружности. Допуск на толщину зуба вала, при угле  $\beta$ , равном  $80$  или  $82,5^\circ$ , на несколько тысячных мм точнее, чем допуск на делительный диаметр окружности и практически может считаться также равным допуску на делительный диаметр окружности. Следовательно, допуски на делительный диаметр окружности дают полное представление о характере посадки по толщине зуба и боковым зазорам.

В зависимости от назначения соединения выбирают его нормальную или пониженную точность.

Соединение нормальной точности имеет отклонения для делительного диаметра  $d$  – по H8/h9, для внутреннего диаметра отверстия  $D_a$  и наружного диаметра вала  $d_a$  – по H8/h8.

Соединение пониженной точности имеет отклонения для делительного диаметра  $d$  – по H9/h11, для внутреннего диаметра отверстия  $D_a$  и наружного диаметра вала  $d_a$  – по H9/h9.

Соединение пониженной точности предназначено, главным образом, для грубых соединений с отверстием, имеющим разрез и стяжной болт, и для грубых конических соединений.

При необходимости назначения другой посадки обязательно применение системы отверстия, т. е. сохранение неизменным допуска на отверстие. Характер посадки должен быть отражен отклонениями на делительный диаметр окружности вала, которые могут быть даны в два минуса для посадки с гарантированным зазором, в два плюса или один плюс для посадок с натягами и зазорами.

Для конических валов рекомендуется глухая или напряженная посадки (т. е. вал с более полным зубом).

Отклонения на размеры  $M_B$  и  $M_a$  те же, что для делительного диаметра  $d$ .

Для измерения толщины зубьев шлицев и ширины впадин производят при помощи роликов или проволочек. Поэтому вместо размеров толщины зубьев вала и ширины впадин отверстия указывают размеры по роликам или проволочкам (рис. 7.32, табл. 7.119).

Таблица 7.119

Номинальные размеры между проволочками и по проволочкам

| $d_a$ | Отверстие                 |        |          | Вал                       |        |          |
|-------|---------------------------|--------|----------|---------------------------|--------|----------|
|       | диаметр проволочки $d'_B$ | $M_B$  | $K_B, *$ | диаметр проволочки $d'_a$ | $M_a$  | $K_a, *$ |
| 5     | 0,260                     | 4,460  | 0,0026   | 0,343                     | 5,486  | 0,0024   |
| 6     | 0,343                     | 5,265  | 0,0026   | 0,402                     | 6,555  | 0,0024   |
| 8     | 0,402                     | 7,137  | 0,0026   | 0,511                     | 8,656  | 0,0024   |
| 10    | 0,511                     | 8,878  | 0,0026   | 0,572                     | 10,639 | 0,0024   |
| 12    | 0,572                     | 10,768 | 0,0026   | 0,796                     | 13,040 | 0,0024   |
| 15    | 0,796                     | 13,216 | 0,0026   | 1,008                     | 16,296 | 0,0024   |
| 18    | 0,866                     | 16,047 | 0,0026   | 1,157                     | 19,392 | 0,0024   |
| 20    | 1,047                     | 17,584 | 0,0026   | 1,302                     | 21,551 | 0,0024   |
| 22    | 0,866                     | 20,101 | 0,0025   | 1,047                     | 23,302 | 0,0024   |
| 25    | 1,008                     | 22,773 | 0,0025   | 1,157                     | 26,393 | 0,0024   |
| 28    | 1,157                     | 25,418 | 0,0025   | 1,302                     | 29,559 | 0,0024   |
| 30    | 1,157                     | 27,438 | 0,0025   | 1,441                     | 31,779 | 0,0024   |
| 32    | 1,302                     | 29,093 | 0,0025   | 1,553                     | 33,933 | 0,0024   |
| 35    | 1,441                     | 31,764 | 0,0025   | 1,591                     | 36,841 | 0,0024   |
| 38    | 1,553                     | 34,502 | 0,0025   | 1,833                     | 40,241 | 0,0024   |
| 40    | 1,591                     | 36,426 | 0,0025   | 1,833                     | 42,123 | 0,0024   |
| 42    | 1,732                     | 38,091 | 0,0025   | 2,020                     | 44,459 | 0,0024   |
| 45    | 1,833                     | 40,867 | 0,0025   | 2,071                     | 47,408 | 0,0024   |
| 50    | 2,020                     | 45,456 | 0,0025   | 2,311                     | 52,705 | 0,0024   |
| 55    | 2,217                     | 50,021 | 0,0025   | 2,595                     | 58,109 | 0,0024   |
| 60    | 2,311                     | 54,854 | 0,0025   | 2,886                     | 63,539 | 0,0024   |
| 65    | 2,595                     | 59,209 | 0,0025   | 3,106                     | 68,797 | 0,0024   |
| 70    | 2,886                     | 63,537 | 0,0025   | 3,310                     | 74,008 | 0,0024   |
| 75    | 3,106                     | 68,043 | 0,0025   | 3,580                     | 79,379 | 0,0024   |

Примечания: \*  $K_B$  – изменение размера  $M_B$  на 0,001  $d'_B$ . \*  $K_a$  – изменение размера  $M_a$  на 0,001  $d'_a$ . 1. Диаметры проволоки  $d'_B$  и  $d'_a$  по ГОСТ 2475–88 для измерения резьб. 2. Размеры  $M_B$  и  $M_a$  дают соединение отверстия и вала без зазора. 3. При увеличении  $d'_B$  вычитать  $K_B$  из  $M_B$ ; при увеличении  $d'_a$  складывать  $K_a$  с  $M_a$ . 4. Для вала допустимая зона касания проволочек  $\pm 0,05$  относительно диаметра начальной окружности  $D_a$ .

**Расчет на прочность треугольных шлицевых соединений.** Основными критериями работоспособности треугольных шлицевых соединений являются сопротивления рабочих поверхностей зубьев смятию и изнашиванию.

При расчете на прочность треугольных шлицевых соединений используют методику расчета на прочность прямоугольных шлицевых соединений.

Расчет треугольных шлицевых эвольвентных соединений на смятие ведется по формуле

$$\sigma_{cm} = \frac{2T}{dA_{cm}} \leq [\sigma_{cm}],$$

где  $d-mz$  – диаметр делительной окружности;  $m$  – модуль соединения;  $z$  – число зубьев;  $A_{cm} = h_p lz$  – условная площадь смятия;  $h_p = 0,8m$  – рабочая высота зубьев;  $l$  – длина ступицы.

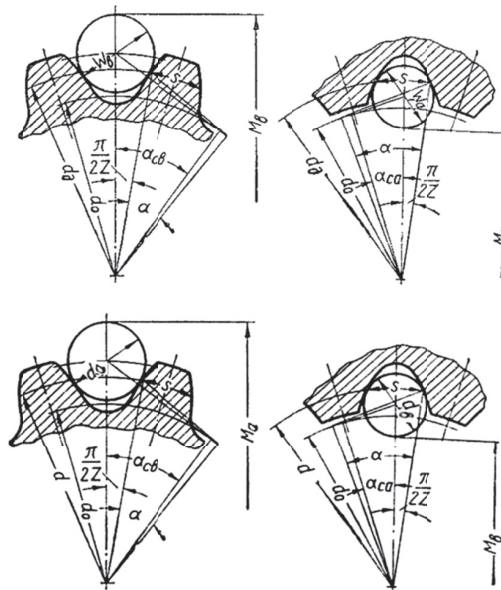


Рис. 7.32. Методика указания размеров по роликам или проволочкам

Для валов

$$M_a = \frac{d_0}{\cos \alpha_{ce}} + W_e \text{ - при четном } z;$$

$$M_a = \frac{d_0 \cos \frac{90^\circ}{z}}{\cos \alpha_{ce}} + W_e \text{ - при нечетном } z;$$

$$\text{inv} \alpha_{ce} = \text{inv} \alpha_d + \frac{W_e}{d_0} - \frac{\pi}{2z};$$

для отверстий

$$M_e = \frac{d_0}{\cos \alpha_{ca}} + W_a \text{ - при четном } z;$$

$$M_e = \frac{d_0 \cos \frac{90^\circ}{z}}{\cos \alpha_{ca}} + W_a \text{ - при нечетном } z;$$

$$\text{inv} \alpha_{ca} = \text{inv} \alpha_d + \frac{W_a}{d_0} - \frac{\pi}{2z}.$$

### 7.15. СОЕДИНЕНИЯ С КВАДРАТНЫМ ВАЛОМ, мм

Эти разновидности профильного соединения применяются для посадки маховичков, рукояток, педалей и т. п. Квадраты для инструмента стандартизованы по ГОСТ 9523-84.

Недостатки соединения с квадратным валом – трудность точного изготовления отверстия во втулке (рис. 7.33, а), наличие входящих углов, создающих высокую концентрацию напряжений, и плохое центрирование втулки на валу; достоинства – простота изготовления вала и возможность захвата конца вала обычным гаечным ключом ( табл.7.120).

Конструктивно принимают  $b = 0,75d, l = 1,5 \div 2,0d$ .

Посадки в зависимости от условий работы:

$$\frac{H8}{e8} \text{ или } \frac{H11}{d11}.$$

Передаваемый соединением момент при треугольной эпюре напряжений смятия на гранях определяется по формуле

$$M_k = \frac{S^2 l}{3} [\sigma]_{cm}$$

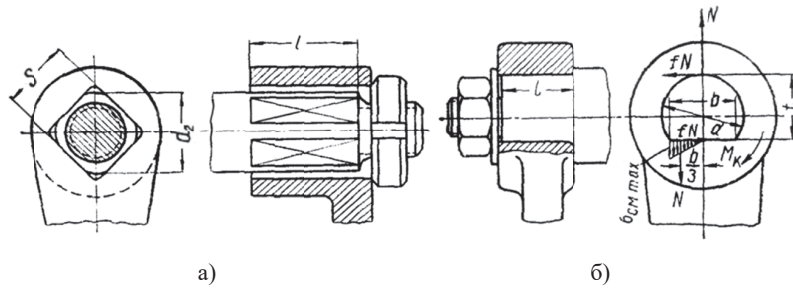


Рис. 7.33. Соединения с квадратным валом (а) и с круглым валом с лыской (б)

**Концы валов круглые с лыской.** Круглый профиль с одной лыской лучше центрирует втулку на валу, чем квадратный профиль (рис. 7.33).

Передаваемый таким соединением момент, с учетом сил трения на поверхностях контакта при треугольной эпюре напряжения смятия на лыске (рис. 7.33, б), определяют по формуле

$$M_k = \frac{bl}{4} \left( \frac{b}{3} + ft \right) [\sigma]_{см}$$

Конструктивно принимают  $b = t = 0,8d$ . Коэффициент трения  $f = 0,12 \div 0,18$ .

Рекомендуемые размеры концов валов с лысками под рукоятки в табл. 7.120.

Таблица 7.120

Размеры лысок и квадратов на валах под рукоятки и под ключ по ГОСТ 9523-84

| Ключ S | d mln | d <sub>1</sub> | d <sub>2</sub> | t   | Ключ S | d mln | d <sub>1</sub> | d <sub>2</sub> | t  | Ключ S | d mln | d <sub>1</sub> | d <sub>2</sub> | t  |
|--------|-------|----------------|----------------|-----|--------|-------|----------------|----------------|----|--------|-------|----------------|----------------|----|
| 6      | 7     | 8,5            | 8              | 5,5 | 14     | 16    | 19,8           | 18             | 12 | 36     | 42    | 50,9           | 48             | 32 |
| 7      | 8     | 9,9            | 9              | 6   | 17     | 19    | 24,0           | 22             | 14 | 41     | 48    | 58,0           | 54             | 36 |
| 8      | 9     | 11,3           | 10             | 7   | 19     | 22    | 26,9           | 25             | 17 | 46     | 52    | 65,1           | 60             | 41 |
| 9      | 10    | 12,7           | 12             | 8   | 22     | 25    | 31,1           | 28             | 19 | 50     | 58    | 70,7           | 65             | 46 |
| 10     | 12    | 14,1           | 13             | 9   | 27     | 32    | 38,2           | 36             | 24 | 55     | 65    | 77,6           | 72             | 50 |
| 11     | 13    | 15,6           | 14             | 10  | 30     | 36    | 42,4           | 40             | 27 | 60     | 70    | 84,8           | 80             | 55 |
| 12     | 14    | 17,0           | 16             | 11  | 32     | 38    | 45,3           | 42             | 30 | 65     | 75    | 91,9           | 85             | 60 |

## Глава 8 ТРУБОПРОВОДЫ

### 8.1. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРУБОПРОВОДОВ

Трубопровод служит для объединения гидро-, пневмоаппаратов или устройств системы смазки в замкнутую систему и для снабжения их рабочей жидкостью или сжатым воздухом, с помощью которых непосредственно или через передаточные механизмы приводятся в действие или смазываются рабочие органы машины.

Различные устройства, входящие в замкнутую гидро- или пневмосистему и позволяющие управлять потоком рабочей жидкости или сжатого воздуха путем изменения величины площади прохода трубопровода, называют *арматурой* трубопроводной.

Трубопровод характеризуется материалом и величиной прохода для рабочей жидкости или сжатого воздуха, которые протекают через соединяемые им аппараты и соединительные части, а также рабочим давлением и температурой рабочей жидкости.

Различают давления рабочей жидкости – рабочее, условное и пробное. Трубопроводы, насосы, исполнительные, регулирующие устройства и их соединительные части рассчитываются на *условное давление*  $p_y$  (при нормальной температуре), которое устанавливается в зависимости от *рабочего давления*  $p_p$  (при фактической температуре). Гидравлические испытания прочности системы должны производиться при *пробном давлении*  $p_{пр}$ .

Между величинами  $p_y$ ,  $p_p$  и  $p_{пр}$  установлена связь в зависимости от их материала и температуры.

Условные и рабочие давления для стальной арматуры и соединительных частей трубопроводов из стали углеродистой ( $C \leq 0,3\%$ ), хромомолибденовой и хромоникельтитановой в зависимости от температуры среды приведены в табл.8.1, для арматуры и соединительных частей трубопроводов из чугуна и медных сплавов – в табл. 8.2.

Таблица 8.1

Трубопроводы. Числовые значения условных и рабочих давлений для стальной арматуры и соединительных частей трубопроводов

| $t^\circ$ |     |     | Условное давление, $p_y$ , МПа           |      |      |      |     |     |     |     |     |    |      |    |    |    |    |
|-----------|-----|-----|--|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|----|------|----|----|----|----|
|           |     |     | 0,1                                      | 0,25 | 0,4  | 0,6  | 1   | 1,6 | 2,5 | 4   | 6,4 | 10 | 16   | 20 | 25 | 32 | 40 |
| С         | ХМ  | ХНТ | Рабочее давление наибольшее, $p_p$ , МПа |      |      |      |     |     |     |     |     |    |      |    |    |    |    |
| 200       | 200 | 200 | 0,1                                      | 0,25 | 0,4  | 0,6  | 1   | 1,6 | 2,5 | 4,0 | 6,4 | 10 | 16   | 20 | 25 | 32 | 40 |
| 250       | 320 | 320 | 0,09                                     | 0,2  | 0,36 | 0,56 | 0,9 | 1,4 | 2,2 | 3,6 | 5,6 | 9  | 14   | 18 | 22 | 28 | 36 |
| 300       | 450 | 420 | 0,08                                     | 0,2  | 0,32 | 0,5  | 0,8 | 1,2 | 2,0 | 3,2 | 5,0 | 8  | 12,5 | 16 | 20 | 25 | 32 |
| 350       | 490 | 480 | 0,07                                     | 0,18 | 0,28 | 0,45 | 0,7 | 1,1 | 1,8 | 2,8 | 4,5 | 7  | 11,2 | 14 | 18 | 22 | 28 |
| 400       | 500 | 520 | 0,06                                     | 0,16 | 0,25 | 0,4  | 0,6 | 1,0 | 1,6 | 2,5 | 4,0 | 6  | 10   | 12 | 16 | 20 | 25 |

Примечание.  $t^\circ$  – температура рабочей среды в  $^\circ\text{C}$ : С- углеродистая; ХМ – хромомолибденовая; ХНТ – хромоникельтитановая.

Таблица 8.2

Трубопроводы. Числовые значения условных и рабочих давлений для чугунной и из цветных сплавов арматуры и соединительных частей трубопроводов

| Материал             | $t^\circ$ | Условное давление, $p_y$ , МПа           |      |      |      |      |     |     |     |     |    |    |    |    |  |  |  |
|----------------------|-----------|--|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|--|--|--|
|                      |           | 0,1                                      | 0,25 | 0,4  | 0,6  | 1    | 1,6 | 2,5 | 4,0 | 6,3 | 10 | 16 | 20 | 25 |  |  |  |
|                      |           | Рабочее давление наибольшее, $p_p$ , МПа |      |      |      |      |     |     |     |     |    |    |    |    |  |  |  |
| Серый и ковкий чугун | До 120    | 0,1                                      | 0,25 | 0,4  | 0,6  | 1    | 1,6 | 2,8 | 4   |     |    |    |    |    |  |  |  |
|                      | 200       |  |      | 0,36 | 0,55 | 0,9  | 1,5 | 2,3 | 3,6 |     |    |    |    |    |  |  |  |
|                      | 250       |  | 0,2  | 0,34 | 0,5  | 0,8  | 1,4 | 2,1 | 3,4 |     |    |    |    |    |  |  |  |
|                      | 300       |  |      | 0,32 | 0,5  | 0,8  | 1,3 | 2,0 | 3,2 |     |    |    |    |    |  |  |  |
| Ковкий чугун         | До 350    | 0,08                                     | 0,19 | 0,3  | 0,45 | 0,75 | 1,2 | 1,8 | 3,0 |     |    |    |    |    |  |  |  |
|                      | 400       | 0,07                                     | 0,16 | 0,28 | 0,4  | 0,7  | 1,0 | 1,6 | 2,8 |     |    |    |    |    |  |  |  |
| Бронза и латунь      | До 120    | 0,1                                      | 0,25 | 0,4  | 0,6  | 1    | 1,6 | 2,5 | 4,0 | 6,4 | 10 | 16 | 20 | 25 |  |  |  |
|                      | 200       |  | 0,2  | 0,32 | 0,5  | 0,8  | 1,3 | 2,0 | 3,2 |     |    |    |    |    |  |  |  |
|                      | 250       |  | 0,07 | 0,17 | 0,27 | 0,4  | 0,7 | 1,1 | 1,7 | 2,7 |    |    |    |    |  |  |  |

Примечание:  $t^\circ$  – температура рабочей среды в  $^\circ\text{C}$ .

Для бронз, у которых кривая изменения расчетной прочностной характеристики при  $t^\circ = 250^\circ\text{C}$  аналогична кривой для углеродистой стали, допускается принимать давления, указанные в табл. 8.1 для углеродистой стали (С) при температурах среды до  $250^\circ\text{C}$ .

Пробное давление назначается в зависимости от условного давления, (табл. 8.3).

Таблица 8.3

Трубопроводы. Числовые значения пробного давления для арматуры и соединительных частей трубопроводов

| $P_y$ | $P_{пр}$ | $P_y$ | $P_{пр}$ | $P_y$ | $P_{пр}$ | $P_y$ | $P_{пр}$ |
|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|
| 1     | 2        | 10    | 15       | 64    | 96       | 250   | 350      |
| 2,5   | 4        | 16    | 24       | 100   | 150      | 320   | 450      |
| 4     | 6        | 25    | 38       | 160   | 240      | 400   | 500      |
| 6     | 9        | 40    | 60       | 200   | 300      | 500   | 630      |

Трубопроводы и соединяемые ими части, работающие при температуре выше  $400^\circ\text{C}$ , должны дополнительно проверяться на прочность по рабочему давлению и пределам текучести и ползучести при данной температуре.



**Условные проходы.** Условным проходом компонентов гидропривода  $D_y$  называют *номинальный внутренний диаметр* каналов трубопровода, по которым циркулирует рабочая жидкость. По значению  $D_y$  примерно равен размеру внутреннего диаметра трубопровода, но может отличаться от его фактического размера. Размеры условных проходов приведены в табл. 8.4; условные проходы, выделенные в ней жирным шрифтом, предназначаются для арматуры, соединительных частей и трубопроводов общего назначения.

Размеры проходов внутри арматуры, в том числе пределы изменения диаметра прохода, определяют по конструктивным соображениям в зависимости от назначения арматуры.

Таблица 8.4

| Трубопроводы. Условные проходы |               |               |                                  |               |       |               |       |
|--------------------------------|---------------|---------------|----------------------------------|---------------|-------|---------------|-------|
| $D_{12}$ , мм                  | $D''$         | $D_{12}$ , мм | $D''$                            | $D_{12}$ , мм | $D''$ | $D_{12}$ , мм | $D''$ |
| 3                              |               | 20            | $\frac{3}{4}$                    | 80            | 3     | 300           | 12    |
| 4                              |               | 25            | <b>1</b>                         | 100           | 4     | 400           |       |
| 6                              |               | 32            | <b><math>1\frac{1}{4}</math></b> | 125           | 5     | 500           |       |
| 8                              | $\frac{1}{4}$ | 40            | <b><math>1\frac{1}{2}</math></b> | 150           | 6     | 600           |       |
| 10                             | $\frac{3}{8}$ | 50            | <b>2</b>                         | 200           | 8     | 800           |       |
| 15                             | $\frac{1}{2}$ | 70            | <b><math>2\frac{1}{2}</math></b> | 250           | 10    | 1000          |       |

Примечание.  $D''$  – трубная резьба, в дюймах, соответствующая условному проходу.

Значение условного прохода для трубопровода и соединяемых с его помощью частей можно определить по формуле, которая удовлетворяет по точности трубопроводы для жидкости и не достаточно точной для воздуха.

$$d = \sqrt{\frac{21,22Q}{v}},$$

где  $d$  – внутренний диаметр трубопровода, мм;

$Q$  – расход (протекающий объем) рабочей жидкости или воздуха по трубопроводу, л/мин;

$v$  – средняя скорость движения (потока) рабочей жидкости или сжатого воздуха, при рабочей температуре, м/с,  $v = 1,5 \div 2,0$ .

## 8.2. РАСЧЕТ ОБЪЕМА РАСХОДА ЖИДКОСТИ ИЛИ СЖАТОГО ВОЗДУХА

Расход жидкости или сжатого воздуха для питания цилиндра определяют по формуле

$$Q = Fv \text{ или } Q = \frac{V}{t},$$

где  $Q$  – расход жидкости или сжатого воздуха в  $\text{м}^3/\text{мин}$ ;

$F$  – площадь цилиндра,  $\text{м}^2$ ;

$v$  – скорость перемещения поршня цилиндра, м/мин;

$V$  – объем воздуха под поршнем цилиндра при перемещении на величину хода,  $\text{м}^3$ ;

$t$  – время срабатывания цилиндра в мин.

Для перехода от расхода сжатого воздуха к расходу свободного воздуха применяют формулу:

$$Q_o = Q \frac{P}{P_o}$$

где  $Q_o$  – расход свободного воздуха в  $\text{м}^3/\text{мин}$ ;

$P$  – абсолютное давление сжатого воздуха МПа;

$P_o$  – абсолютное давление свободного воздуха, (принимается  $P_o = 0,1$  МПа).

Расход воздуха при различных диаметрах цилиндров приведен в табл. 8.5.

Таблица 8.5

| Расход объема воздуха при различных диаметрах цилиндров |  |  |
|---|--|--|
| Диаметр цилиндра, мм                                    | Расход свободного воздуха на 1 см пути поршня, $\text{м}^3 \cdot 10^6$ | Расход сжатого воздуха при давлении 0,4 МПа на 1 см пути поршня, $\text{м}^3 \cdot 10^6$ |
| 40  | 62,85  | 12,57  |
| 60  | 141,35   | 28,27  |
| 80  | 251,35   | 50,27  |
| 100   | 392,70   | 78,54  |
| 120   | 565,50   | 113,10   |
| 140   | 769,70   | 153,94   |
| 160   | 1005,30  | 201,06   |
| 180   | 1272,35  | 254,47   |
| 200   | 1570,80  | 314,16   |

Для жестких трубопроводов рекомендуют применять оцинкованные водогазопроводные трубы (табл. 8.6).

ГОСТ 3262–75 распространяется на неоцинкованные (черные) и оцинкованные стальные трубы: обыкновенные, усиленные и облегченные, с резьбой конической или цилиндрической, а также без резьбы – с гладкими концами под резьбу или под сварку.

Таблица 8.6

Трубы водогазопроводные стальные по ГОСТ 3262-75

| Условный проход |       | Трубы                |                    |                                       |                    |                                       | Резьба                                    |                     |                       |                           |
|-----------------|-------|----------------------|--------------------|---------------------------------------|--------------------|---------------------------------------|---|---------------------|-----------------------|---------------------------|
| мм              | дюймы | наружный диаметр, мм | обыкновенные       |                                       | усиленные          |                                       | наружный диаметр в основной плоскости, мм | число ниток на дюйм | длина до сбega        |                           |
|                 |       |                      | толщина стенки, мм | теоретический вес 1 м (без муфты), кг | толщина стенки, мм | теоретический вес 1 м (без муфты), кг |   |                     | конической резьбы, мм | цилиндрической резьбы, мм |
| 8               | 1/4   | 13,5                 | 2,25               | 0,62                                  | 2,75               | 0,73                                  | –   | –                   | –                     | –                         |
| 10              | 3/8   | 17                   | 2,25               | 0,82                                  | 2,75               | 0,97                                  | –   | –                   | –                     | –                         |
| 15              | 1/2   | 21,25                | 2,75               | 1,25                                  | 3,25               | 1,44                                  | 20,956                                    | 14                  | 15                    | 14                        |
| 20              | 3/4   | 26,75                | 2,75               | 1,63                                  | 3,5                | 2,01                                  | 26,442                                    | 14                  | 17                    | 16                        |
| 25              | 1     | 33,5                 | 3,25               | 2,42                                  | 4                  | 2,91                                  | 33,250                                    | 11                  | 19                    | 18                        |
| 32              | 1 1/4 | 42,25                | 3,25               | 3,13                                  | 4                  | 3,77                                  | 41,912                                    | 11                  | 22                    | 20                        |
| 40              | 1 1/2 | 48                   | 3,5                | 3,84                                  | 4,25               | 4,58                                  | 47,805                                    | 11                  | 23                    | 22                        |
| 50              | 2     | 60                   | 3,5                | 4,88                                  | 4,5                | 6,16                                  | 59,616                                    | 11                  | 26                    | 24                        |
| 70              | 2 1/2 | 75,5                 | 3,75               | 6,64                                  | 4,5                | 7,88                                  | 75,187                                    | 11                  | 30                    | 27                        |
| 80              | 3     | 88,5                 | 4                  | 8,34                                  | 4 7/8              | 9,81                                  | 87,887                                    | 11                  | 32                    | 30                        |
| 100             | 4     | 114                  | 4                  | 10,85                                 | 5                  | 13,44                                 | 113,034                                   | 11                  | 38                    | 36                        |
| 125             | 5     | 140                  | 4,5                | 15,04                                 | 5,5                | 18,24                                 | 138,435                                   | 11                  | 41                    | 38                        |
| 150             | 6     | 165                  | 4,5                | 17,81                                 | 5,5                | 21,63                                 | 163,836                                   | 11                  | 45                    | 42                        |

Примечание. Сварные трубы должны выдерживать испытание гидравлическим давлением 2 МПа для труб обыкновенных и облегченных и 3 МПа – для усиленных.

Для изготовления трубопроводов применяют также трубы стальные бесшовные горячедеформированные по ГОСТ 8732-78 и трубы стальные бесшовные холоднодеформированные по ГОСТ 8734-75, трубы медные по ГОСТ 617–90, трубы латунные по ГОСТ 494-90 и др.

Требования, предъявляемые к стальным трубам для трубопроводов и соединительных деталей из них, приведены в табл. 8.7.

Таблица 8.7

Марки стальных труб и их механические свойства

| Марка стали | Предел прочности при растяжении, $\sigma_b$ , МПа | Относительное удлинение |            | Трубы по состоянию материала при поставке                                 |
|-------------|---|-------------------------|------------|---|
|             |   | $\delta_{10}$           | $\delta_5$ |   |
|             |   | % не менее              |            |   |
| 10          | 320   | 20                      | 24         | Горячедеформированные – без отжига, холоднодеформированные – после отжига |
| 20          | 400   | 17                      | 20         |   |
| 35          | 520   | 14                      | 17         |   |
| 45          | 600   | 12                      | 14         |   |
| 15Х         | Нормы по соглашению сторон                        | 10                      | 13         | Холоднодеформированные – после отжига                                     |
| 20Х         |   |                         |            | Горячедеформированные – без отжига  |
| 40Х         |   |                         |            | Холоднотянутые – после отжига   |
| 15ХФ        | 450   | 17                      | 20         | Горячедеформированные – без отжига  |
| 30ХГСА      | 500   | 18                      | –          |   |
| 30ХГС       | 700   | 11                      | –          |   |
| 38ХМЮА      | Нормы по соглашению                               |                         |            | Горячедеформированные и холоднодеформированные – после отжига             |

Примечание. Для труб из углеродистой стали допускаемое напряжение принимают в размере 35% от предела прочности при растяжении.

Внутреннее рабочее давление  $P$  в Н/мм<sup>2</sup> вычисляют для холоднодеформированных бесшовных труб из стали 10 по формуле:

$$P = k \frac{2S\sigma_a}{D_n n},$$

где  $S$  – толщина стенки трубы в мм;

$\sigma_a$  – предел прочности при растяжении в Н/мм<sup>2</sup>, для стали 10  $\sigma_a = 320$  Н/мм<sup>2</sup>;

$D_n$  – наружный диаметр трубы в мм;  $n$  – запас прочности принят  $n = 5$ ;

$k$  – коэффициент, зависящий от марки стали (табл. 8.8).

Таблица 8.8

Значения коэффициента  $k$  для труб из разных марок сталей


| Марка стали трубы | Коэффициент |
|-------------------|-------------|
| Сталь 10          | 1,0         |
| Сталь 20          | 1,25        |
| Сталь 35          | 1,60        |
| Сталь 45          | 1,85        |

Примечание. Таблица не учитывает крепление конической резьбой по ГОСТ 6111–52.

Размеры стальных бесшовных труб, применяемых для соединений с конической резьбой, даны в табл. 8.9.

Таблица 8.9

Стальные бесшовные трубы для соединений с конической резьбой

|   | Резьба коническая |        | Трубы из стали 10,<br>$D_0 \times \delta$ , мм |
|---|-------------------|--------|--|
|   | дюймы             | мм     |  |
|  | K 1/4             | 13,572 | 14×2   |
|   | K 3/8             | 17,055 | 18×2,5   |
|   | K 1/2             | 21,223 | 22×3   |
|   | K 3/4             | 26,568 | 28×4   |
|   | K 1               | 33,228 | 34×5   |
|   | K 1 1/4           | 41,985 | 42×6   |
|   | K 1 1/2           | 48,054 | 50×6   |
|   | 2                 | 60,092 | 63×8   |

Применение медных труб по ГОСТ 617–90 и латунных труб по ГОСТ 494-90 рекомендуют для трубопроводов с наружным диаметром не более 6 мм, а для трубопроводов диаметром свыше 6 мм – только при затрудненных условиях монтажа.

Трубы медные марок М2, М3 и Л96 по ГОСТ 617–90 применяют с наружным диаметром от 3 до 30 мм и с толщиной стенки от 0,5 до 5 мм.

Медные трубы испытывают гидравлическим давлением, вычисленным по формуле:

$$P = \frac{110 \cdot S}{D_e},$$

где  $P$  – гидравлическое давление, МПа;  $S$  – толщина стенки, мм;  $D_e$  – внутренний диаметр, мм.

Трубы латунные марки Л62 по ГОСТ 494-90 применяют с наружным диаметром от 3 до 30 мм и с толщиной стенки от 0,5 до 7 мм.

Механические свойства латунных труб приведены в табл. 8.10.

Таблица 8.10

Трубопроводы. Механические свойства латунных труб

| Марка латуни           | Предел прочности при растяжении, МПа | Относительное удлинение $\delta_{10}$ , % |
|------------------------|--------------------------------------|---|
| Л62, трубы мягкие      | 300                                  | 38  |
| Л62, трубы полутвердые | 340                                  | 30  |

Гибкие трубопроводы (резиновые рукава и пластиковые трубы) в гидросистемах должны применяться только для подвода масла к подвижным узлам, узлам, служащим для закрепления деталей, съемным узлам, а также в местах, где затруднен монтаж и в случаях, дающих преимущество (уменьшение вибраций и шума).

### 8.3. ТРУБОПРОВОДЫ. ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Каждый трубопровод состоит из основных элементов, которые имеются в любом трубопроводе, и из дополнительных вспомогательных элементов, которые вводят в состав трубопровода в зависимости от конкретных требований, предъявляемых к нему.

К основным элементам трубопроводов относятся:

- трубы;
- соединения труб между собой и с другими элементами трубопроводов;

- затворы для прекращения потока жидкости, пара или газа, транспортируемых через трубопровод;
- фитинги (детали) для изменения направления или сечения потока, для разделения или соединения потоков;
- компенсаторы для компенсации тепловых изменений длины труб;
- опоры и крепления трубопроводов;
- устройства для опорожнения трубопровода, а именно:

а) для выпуска воздуха при заполнении трубопровода перед его пуском в эксплуатацию и для впуска воздуха в трубопровод при его опорожнении;

б) для выпуска жидкости, протекающей через трубопровод, при опорожнении выключаемого трубопровода или его участка;

в) для отвода посторонних примесей, которые постоянно выделяются из жидкостей, протекающих через трубопровод, и которые необходимо периодически, а в некоторых случаях постоянно и автоматически удалять из трубопровода для того, чтобы они не могли нарушить его правильную работу.

**Вспомогательные (дополнительные) элементы трубопроводов** можно подразделить по их назначению и функции на четыре группы:

а) устройства защитные (сетки, грязеуловители, фильтры), предохранительные (обратные клапаны, предохранительные и аварийные клапаны), контрольные (смотровые люки, указатели потока, указатели степени открытия затворов), вспомогательные (дистанционное управление затворами, глушители шума выхлопных труб, расширители и т. д.);

б) устройства для регулирования давления, температуры, расхода жидкости и воздуха, протекающих через трубопровод;

в) устройства, обеспечивающие возможность измерения давления, температуры, расхода и контроль качества жидкости и воздуха, протекающих через трубопровод;

г) защитные окраски и покрытия, внешние и внутренние, а также средства и устройства для теплоизоляции трубопровода.

**Запорные клапаны** преграждают путь потоку жидкости и воздуха, текущих по трубопроводу. С точки зрения конструкции они подразделяются на вентили, задвижки, краны и заслонки. Требования к запорным клапанам: плотное запирающее, притом также и при частом пользовании; удобство и простота обслуживания и ухода, особенно – поддержание герметичности, т. е. притирки уплотнительных поверхностей; малое гидравлическое сопротивление; простота и экономичность конструкции. Этим требованиям удовлетворяют прежде всего шаровые краны, которые могут работать при температуре до +200 °С (табл. 8.11, 8.12, 8.13).

Таблица 8.11

**Кран проходной, пробковый, муфтовый на P<sub>г</sub>–10 МПа**

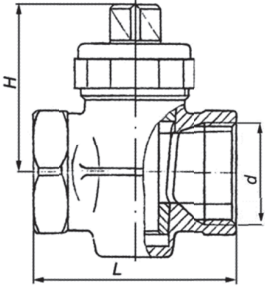
|  | Ду | d"      | L(мм) | H(мм) |
|---|----|---------|-------|-------|
|   | 15 | G 1/2   | 55    | 48    |
|   | 20 | G 3/4   | 60    | 48    |
|   | 25 | G 1     | 75    | 60    |
|   | 32 | G 1 1/4 | 85    | 70    |
|   | 40 | G 1 1/2 | 78    | 78    |
|   | 50 | G 2     | 115   | 88    |

Таблица 8.12

**Кран проходной, шаровой, муфтовый на P<sub>г</sub>–16 МПа**

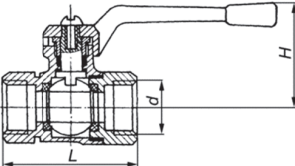
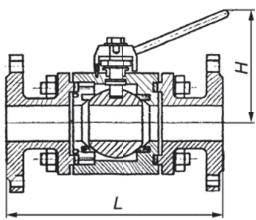
|  | Ду | d"      | L(мм) | H(мм) |
|---|----|---------|-------|-------|
|   | 15 | G 1/2   | 51    | 40    |
|   | 20 | G 3/4   | 57    | 45    |
|   | 25 | G 1     | 72    | 55    |
|   | 40 | G 1 1/2 | 110   | 81    |
|   | 50 | G 2     | 115   | 90    |

Таблица 8.13

**Кран проходной, шаровой, фланцевый на P<sub>г</sub>–16 МПа**

|  | Ду  | L(мм) | H(мм) |
|---|-----|-------|-------|
|   | 50  | 180   | 180   |
|   | 65  | 200   | 200   |
|   | 80  | 210   | 230   |
|   | 100 | 230   | 240   |
|   | 150 | 350   | 250   |

**Фитингами** называют фасонные соединительные части, которые служат для образования ответвлений трубопроводов и для изменения направления потоков и размеров проходных сечений. Фитинги, у которых все штуцеры одинакового диаметра называются *прямыми*, а фитинги со штуцерами разных диаметров – *переходными*.

Наиболее распространены фитинги в трубопроводах, для образования которых не применяют сварки, т.е. в трубопроводах из стальных труб и фитингов с трубной цилиндрической (ГОСТ 6357–81) и конической дюймовой резьбой (ГОСТ 6111–52).

Резбовое соединение трубопровода, рассчитанное на давление до 1,6 МПа, состоит из муфты, ниппеля, сгона и контргайки (рис.8.1), при помощи которых соединяются трубы с угольниками и тройниками (рис.8.2 и 8.3). Размеры в табл. 8.14, 8.15 и 8.16.

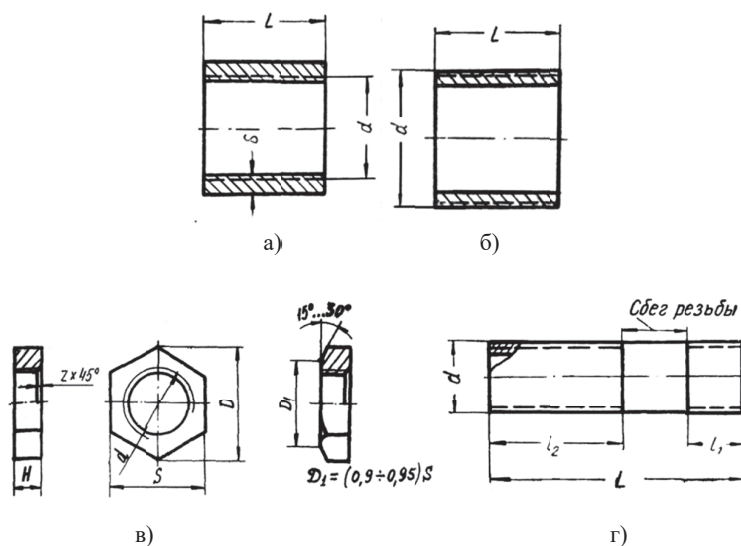


Рис. 8.1. Детали резьбового соединения с трубной цилиндрической резьбой по ГОСТ 6357-81:  
а – муфта; б – ниппель; в – контргайка; г – сгон

Таблица 8.14

Детали резьбового соединения на Р, до 1,6 МПа (рис. 8.1)

| Ду | Резьба d'' |       | Контргайка |    |      |     | Сгон           |                |     | Муфта |     | Ниппель |
|----|------------|-------|------------|----|------|-----|----------------|----------------|-----|-------|-----|---------|
|    |            |       | H          | S  | D    | Z   | l <sub>1</sub> | l <sub>2</sub> | L   | L     | δ   | L       |
| 8  | G 1/4      | 13,16 | 6          | 22 | 25,4 | 1,6 | 7              | 38             | 80  | 22    | 3,5 | 18      |
| 10 | G 3/8      | 16,66 |            | 27 | 31,2 |     | 8              | 42             | 90  | 24    | 3,5 | 20      |
| 15 | G 1/2      | 20,96 | 8          | 32 | 36,9 | 2,0 | 9              | 50             | 100 | 28    | 4   | 24      |
| 20 | G 3/4      | 26,44 | 9          | 36 | 41,6 |     | 10,5           | 54             | 110 | 31    | 4   | 27      |
| 25 | G 1        | 33,25 | 10         | 46 | 53,1 | 2,5 | 11             | 62             | 120 | 35    | 5   | 30      |
| 32 | G 1 1/4    | 41,91 |            | 55 | 63,5 |     | 13             | 68             | 130 | 39    | 5   | 34      |
| 40 | G 1 1/2    | 47,80 |            | 60 | 69,3 |     | 15             | 75             | 140 | 43    | 5   | 38      |
| 50 | G 2        | 59,61 |            | 75 | 80,8 |     | 17             | 86             | 150 | 47    | 5,5 | 42      |

Примечание. Ду – условный проход. Материал – Сталь 35 ГОСТ 1050-74. Резьба трубная цилиндрическая по ГОСТ 6357-81.

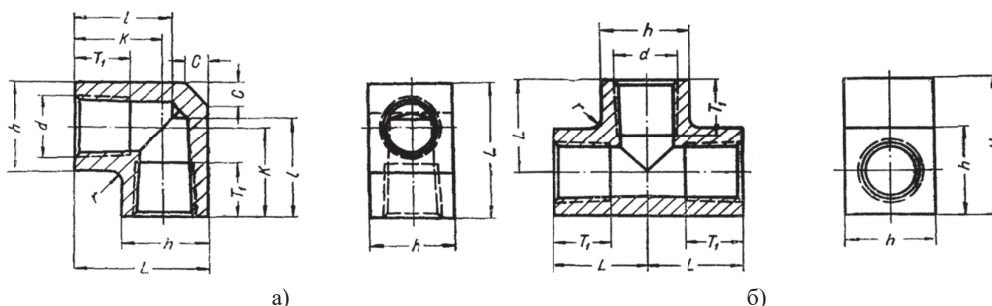


Рис. 8.2. Фитинги для резьбовых соединений с трубной конической резьбой по ГОСТ 6111-52:  
а – угольник; б – тройник

Фитинги для резьбового соединения на  $P_v$  до 1,6 МПа (рис. 8.2)

| Ду | Резьба $d''$ |       | Угольник соединительный |    |    |    |       |    |     | Тройник |      |    |       |     |
|----|--------------|-------|-------------------------|----|----|----|-------|----|-----|---------|------|----|-------|-----|
|    |              |       | L                       | h  | K  | l  | $T_1$ | C  | r   | L       | 2L   | h  | $T_1$ | r   |
| 6  | $K^{1/8}$    | 10,27 | 26,5                    | 17 | 18 | 20 | 10    | 4  | 2   | 18      | 26,5 | 17 | 10    | 2   |
| 8  | $K^{1/4}$    | 13,57 | 33                      | 22 | 22 | 25 | 10    | 5  | 2   | 22      | 33   | 22 | 10    | 2   |
| 10 | $K^{3/8}$    | 17,06 | 37                      | 24 | 25 | 28 | 15    | 6  | 2,5 | 25      | 37   | 24 | 15    | 2,5 |
| 15 | $K^{1/2}$    | 21,22 | 45                      | 30 | 30 | 34 | 20    | 7  | 2,5 | 30      | 45   | 30 | 20    | 2,5 |
| 20 | $K^{3/4}$    | 26,57 | 53                      | 36 | 35 | 40 | 20    | 8  | 3   | 35      | 53   | 36 | 20    | 3   |
| 25 | K 1          | 33,22 | 65                      | 46 | 42 | 48 | 25    | 10 | 3   | 42      | 65   | 46 | 25    | 3   |
| 32 | $K 1^{1/4}$  | 41,98 | 77,5                    | 55 | 50 | 58 | 25    | 12 | 4   | 50      | 77,5 | 55 | 25    | 4   |
| 40 | $K 1^{1/2}$  | 48,05 | 90                      | 60 | 60 | 69 | 25    | 15 | 4,5 | 60      | 90   | 60 | 25    | 4,5 |
| 50 | K 2          | 60,09 | 108                     | 75 | 70 | 82 | 25    | 20 | 5   | 70      | 108  | 75 | 25    | 5   |

Примечание. Ду – условный проход. Материал – Сталь 35 ГОСТ 1050-74. Резьба трубная коническая по ГОСТ 6111-52.

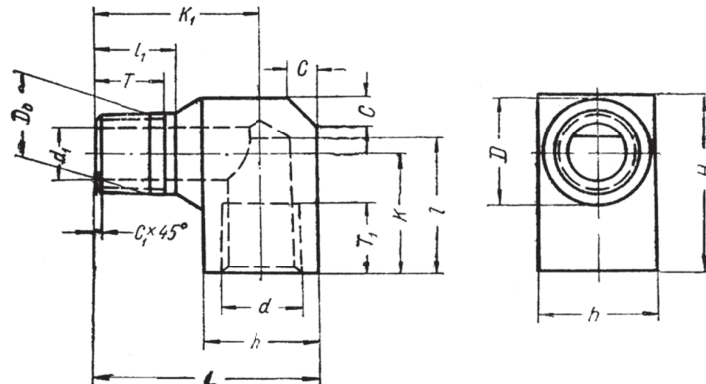


Рис. 8.3. Угольник концевой с трубной конической резьбой по ГОСТ 6111-52

Фитинги для резьбового соединения на  $P_v$  до 1,6 МПа (рис. 8.3)

| Ду | Резьба $d''$ |       | Угольник концевой |       |      |    |    |    |       |    |         |    |       |       |
|----|--------------|-------|-------------------|-------|------|----|----|----|-------|----|---------|----|-------|-------|
|    |              |       | $d_1$             | L     | H    | h  | D  | K  | $K_1$ | l  | $T=T_1$ | C  | $C_1$ | $T_0$ |
| 6  | $K^{1/8}$    | 10,27 | 8                 | 33    | 26,5 | 17 | 16 | 18 | 24,5  | 20 | 26,5    | 4  | 10    | 6,5   |
| 8  | $K^{1/4}$    | 13,57 | 8                 | 42,5  | 33   | 22 | 21 | 22 | 31,5  | 25 | 33      | 5  | 10    | 9,5   |
| 10 | $K^{3/8}$    | 17,06 | 11                | 46,5  | 37   | 24 | 23 | 25 | 34,5  | 28 | 37      | 6  | 15    | 9,5   |
| 15 | $K^{1/2}$    | 21,22 | 15                | 58    | 45   | 30 | 29 | 30 | 43    | 34 | 45      | 7  | 20    | 13    |
| 20 | $K^{3/4}$    | 26,57 | 20                | 66    | 53   | 36 | 35 | 35 | 48    | 40 | 53      | 8  | 20    | 13    |
| 25 | K 1          | 33,22 | 25                | 80    | 65   | 46 | 45 | 42 | 57    | 48 | 65      | 10 | 25    | 15    |
| 32 | $K 1^{1/4}$  | 41,98 | 34                | 93,5  | 77,5 | 55 | 54 | 50 | 66    | 58 | 77,5    | 12 | 25    | 16    |
| 40 | $K 1^{1/2}$  | 48,05 | 40                | 106   | 90   | 60 | 59 | 60 | 76    | 69 | 90      | 15 | 25    | 16    |
| 50 | K 2          | 60,09 | 51                | 107,5 | 108  | 75 | 74 | 70 | 88    | 82 | 108     | 20 | 25    | 18    |

Примечание. Ду – условный проход. Материал – Сталь 35 ГОСТ 1050-74. Резьба трубная коническая по ГОСТ 6111-52.

#### 8.4. РЕЗЬБОВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ТРУБОПРОВОДА

Резьбовое соединение трубопровода, рассчитанное на давление от 6,4 до 32 МПа, состоит из штуцера, угольника или тройника 1, которые соединяют с трубой с помощью ниппеля 2 и накидной гайки 3 (рис. 8.4). У тройников условные проходы штуцеров и присоединяемых к ним труб могут быть одинаковыми и разными.

Резьбовые соединения могут быть концевыми, когда они жестко соединяются с деталью привода или машины (рис. 8.4), и промежуточными, когда они служат для соединения труб (рис. 8.5).

Размеры в табл. 8.17, 8.18, 8.19 и 8.20.



Соединения концевые с развальцовкой на давления до 6,4 МПа

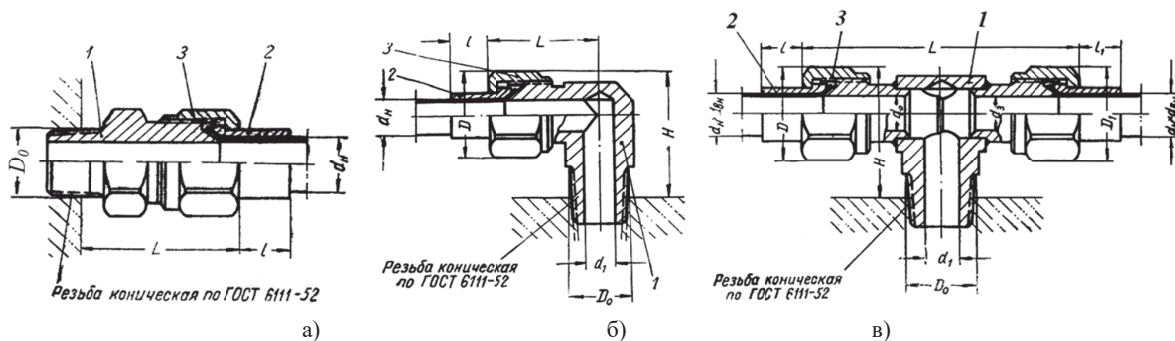


Рис. 8.4. Соединения концевые с развальцовкой:  
а – прямые; б – угловые; в – тройниковые

Таблица 8.17

Фитинги для соединения концевых с развальцовкой на давление до 6,4 МПа (рис. 8.4)

| Размеры труб<br>$d_n \times d_{вн}$ мм |          | $D''$           | Фитинги |     |                 |         |     |       |             |     |      |     |     |    |
|--|----------|-----------------|---------|-----|-----------------|---------|-----|-------|-------------|-----|------|-----|-----|----|
| медных                                 | стальных |                 | прямые  |     |                 | угловые |     |       | тройниковые |     |      |     |     |    |
|  |          | $\underline{L}$ | $l$     | $H$ | $\underline{L}$ | $l$     | $H$ | $D_0$ | $d_1^*$     | $D$ | $L$  | $l$ | $H$ |    |
| 4×3                                    | –        | $K^{1/8}$       | 25      | 7   | 19              | 23      | 7   | 19    | $K^{1/8}$ " | 2,5 | 13,5 | 46  | 7   | 19 |
| 6×4,5                                  | 6×5      | $K^{1/8}$       | 27      | 8   | 22              | 25      | 8   | 22    |             | 4   | 16   | 48  | 8   | 22 |
| 8×6                                    | 8×6,5    | $K^{1/4}$       | 31      | 9   | 28              | 28      | 9   | 28    | $K^{1/4}$ " | 5,5 | 19,5 | 54  | 9   | 28 |
| 10×8                                   | 10×8     | $K^{1/4}$       | 31      | 10  | 31              | 28      | 10  | 31    |             | 7,5 | 21,5 | 72  | 10  | 31 |
| 12×10                                  | 12×10    | $K^{3/8}$       | 35      | 11  | 35              | 36      | 11  | 35    |             | 9,5 | 25   | 78  | 11  | 35 |
| 14×12                                  | 14×12    | $K^{3/8}$       | 39      | 12  | 38              | 42      | 12  | 38    |             | 11  | 27   | 82  | 12  | 45 |
| 18×15                                  | 18×16    | $K^{1/2}$       | 44      | 13  | 45              | 48      | 13  | 45    |             | 14  | 34   | 92  | 13  | 54 |
| 22×18                                  | 22×19    | $K^{3/4}$       | 49      | 14  | 54              | 54      | 14  | 54    |             | 19  | 41   | 106 | 15  | 66 |
| 28×24                                  | 28×25    | $K1$            | 54      | 16  | 66              | 62      | 16  | 66    | 24          | 52  | 125  | 15  | 66  |    |

*Примечание.* \* Исполнения: 1 – Присоединяемые трубы разные. Проход одной трубы  $\approx d_1$ ; 2 – Присоединяемые трубы одинаковые. Проход каждой трубы  $\approx d_1$ ; 3 – Присоединяемые трубы одинаковые Проход одной трубы менее  $d_1$ .

Таблица 8.18

Гайки накладки

| Размеры труб<br>$d_n \times d_{вн}$ мм |          | $d$     | $d_1$ | $D$  | $D_2$ | $D_3$ | $H$ | $h$ | $l$ | $S$ |
|--|----------|---------|-------|------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|
| медных                                 | стальных |         |       |      |       |       |     |     |     |     |
| 4×3                                    | –        | 10×1    | 5     | 13,5 | 12    | 11    | 13  | 10  | 11  | 12  |
| 6×4,5                                  | 6×5      | 12×1,25 | 7     | 16   | 14    | 13    | 14  | 11  | 12  | 14  |
| 8×6                                    | 8×6,5    | 14×1,5  | 9     | 19,5 | 17    | 15    | 15  | 12  | 13  | 17  |
| 10×8                                   | 10×8     | 16×1,5  | 11    | 21,5 | 19    | 17    | 16  | 13  | 14  | 19  |
| 12×10                                  | 12×10    | 18×1,5  | 14    | 25   | 21    | 19    | 18  | 14  | 15  | 22  |
| 14×12                                  | 14×12    | 22×1,5  | 18    | 27   | 24    | 23    | 20  | 15  | 16  | 24  |
| 18×15                                  | 18×16    | 27×1,5  | 22    | 34   | 30    | 28    | 22  | 16  | 18  | 30  |
| 22×18                                  | 22×19    | 33×1,5  | 28    | 41   | 36    | 34    | 24  | 18  | 20  | 36  |
| 28×24                                  | 28×25    | 39×1,5  | 34    | 52   | 44    | 40    | 27  | 20  | 23  | 46  |

Соединения резьбовые промежуточные, рассчитанные на давление до 6,4 МПа

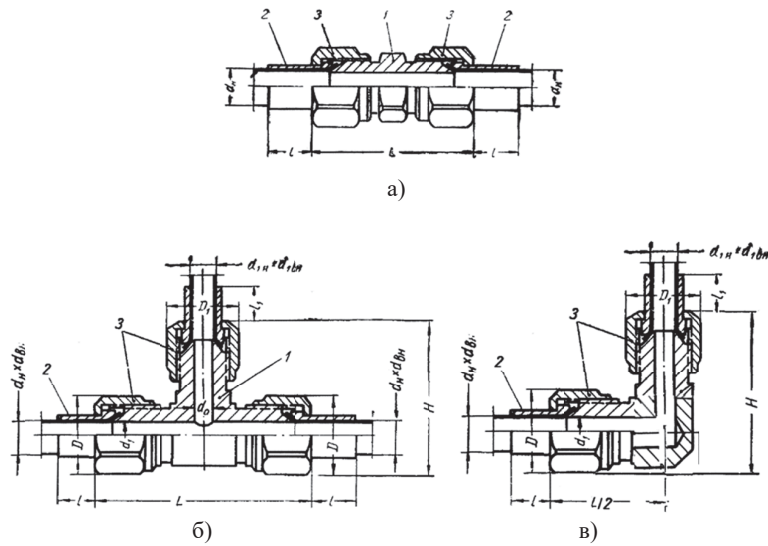


Рис. 8.5. Соединения промежуточные с развальцовкой:  
а – прямые; б – тройниковые; в – угловые

Таблица 8.19

Фитинги для соединения промежуточного с развальцовкой на давление до 6,4 МПа (рис. 8.5)

| Размеры труб<br>$d_n \times d_{0n}$ , мм |          | Фитинги |    |                       |       |      |       |       |    |       |    |        |       |    |       |    |     |
|--|----------|---------|----|-----------------------|-------|------|-------|-------|----|-------|----|--------|-------|----|-------|----|-----|
|  |          | прямые  |    | тройниковые и угловые |       |      |       |       |    |       |    | нипель |       |    |       |    |     |
| медных                                   | стальных | L       | l  | $d_1$                 | $d_0$ | D    | $D_1$ | $L^*$ | l  | $l_1$ | H  | D      | $D_1$ | d  | $d_1$ | H  | h   |
| 4×3                                      | —        | 38      | 7  | 2,5                   | 2,5   | 13,5 | 13,5  | 19    | 7  | 7     | 30 | 8,5    | 8     | 4  | 5     | 13 | 4   |
| 6×4,5                                    | 6×5      | 40      | 8  | 4                     | 2,5   | 16   | 13,5  | 22    | 8  | 7     | 34 | 10     | 9,5   | 6  | 7     | 14 | 4   |
| 8×6                                      | 8×6,5    | 42      | 9  | 5,5                   | 4     | 19,5 | 16    | 28    | 9  | 8     | 38 | 12     | 11    | 8  | 9     | 15 | 4   |
| 10×8                                     | 10×8     | 44      | 10 | 7,5                   | 5,5   | 21,5 | 19,5  | 31    | 10 | 9     | 42 | 14     | 13    | 10 | 11    | 16 | 4   |
| 12×10                                    | 12×10    | 50      | 11 | 9,5                   | 7,5   | 25   | 21,5  | 35    | 11 | 10    | 46 | 16     | 15    | 12 | 14    | 18 | 4   |
| 14×12                                    | 14×12    | 56      | 12 | 11                    | 9,5   | 27   | 25    | 45    | 12 | 11    | 50 | 20     | 19    | 14 | 18    | 20 | 4,5 |
| 18×15                                    | 18×16    | 62      | 13 | 14                    | 11    | 34   | 27    | 54    | 13 | 12    | 60 | 25     | 22    | 18 | 22    | 22 | 5   |
| 22×18                                    | 22×19    | 68      | 14 | 19                    | 14    | 41   | 34    | 66    | 15 | 13    | 70 | 31     | 28    | 22 | 28    | 24 | 6   |
| 28×24                                    | 28×25    | 78      | 16 | 24                    | 19    | 52   | 41    | 66    | 16 | 14    | 80 | 37     | 34    | 28 | 34    | 26 | 6   |

Примечание. \* Для угловых соединений вместо L принимают L/2.

Таблица 8.20

Ниппель для соединений с развальцовкой

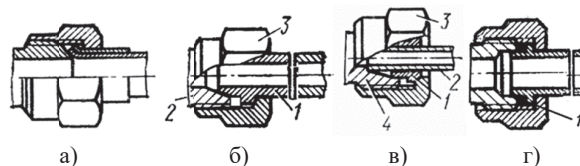
|  | Размеры труб<br>$d_n \times d_{0n}$ , мм |          | Ниппель |       |    |       |    |     |
|--|--|----------|---------|-------|----|-------|----|-----|
|  | медных                                   | стальных | D       | $D_1$ | d  | $d_1$ | H  | h   |
|  | 4×3                                      | —        | 8,5     | 8     | 4  | 5     | 13 | 4   |
|  | 6×4,5                                    | 6×5      | 10      | 9,5   | 6  | 7     | 14 | 4   |
|  | 8×6                                      | 8×6,5    | 12      | 11    | 8  | 9     | 15 | 4   |
|  | 10×8                                     | 10×8     | 14      | 13    | 10 | 11    | 16 | 4   |
|  | 12×10                                    | 12×10    | 16      | 15    | 12 | 14    | 18 | 4   |
|  | 14×12                                    | 14×12    | 20      | 19    | 14 | 18    | 20 | 4,5 |
|  | 18×15                                    | 18×16    | 25      | 22    | 18 | 22    | 22 | 5   |
|  | 22×18                                    | 22×19    | 31      | 28    | 22 | 28    | 24 | 6   |
|  | 28×24                                    | 28×25    | 37      | 34    | 28 | 34    | 26 | 6   |

Типы соединений трубопровода

Существует несколько типов соединений гидравлических трубопроводов: с развальцовкой трубы, шаровые, с врезавшимся кольцом и с торцовым уплотнением. Эти соединения отличаются конструкцией уплотнения для обеспечения герметичности соединения при сохранении их габаритных и присоединительных размеров.

Соединение с корпусной деталью выполняют с трубной цилиндрической (ГОСТ 6357–81) или конической дюймовой резьбой (ГОСТ 6111-52).

Соединения с развальцовкой трубы предназначены для условных давлений до 6,4 МПа. В конструкциях концевых и промежуточных соединений с развальцовкой, приведенных на рис. 8.4 и 8.5, применяют тонкостенные трубы. Развальцовку концов трубы производят под углом 60° или 74° (рис. 8.6, а). При развальцовке труб добиваются, чтобы толщина этой части трубы сохранила не менее 80 – 85% первоначальной толщины трубы. Затяжку соединений производят тарированным ключом, так как при излишней затяжке возможно повреждение развальцованной части трубы.



**Рис 8.6. Соединения жестких трубопроводов:**  
а – штуцер в соединении с развальцованной трубой; б – с шаровым ниппелем;  
в – с врезающимся кольцом; г – с торцовым уплотнением

**Шаровые соединения** (рис. 8.6, б) предназначены для условных давлений до 32 МПа. Этот вид соединений отличается надежностью уплотнения при больших давлениях и допускает многократный демонтаж и монтаж соединений. Уплотнение в этом соединении достигается посредством шарового штуцера 1, который поджимают к седлу штуцера 2 накидной гайкой 3. Штуцер 1 приваривают к подводящей трубе газовой сваркой.

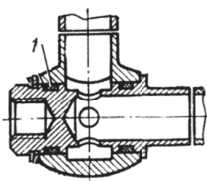
**Соединения с врезающимся кольцом** (рис. 8.6, в) обладают высокой надежностью уплотнения и простотой конструкции и поэтому получили значительное распространение. Соединения с врезающимся кольцом применяют при условных давлениях до 32 МПа.

Основной деталью соединения является врезающееся кольцо 1, изготовляемое из стали 45, с острой передней кромкой. Кольцо 1 в свободном состоянии надевают на трубу, а затем поджимают его с деформацией кромки накидной гайкой 3 к трубке 2 и штуцеру 4. При демонтаже и повторном монтаже кольца меняют.

**Соединения с торцовым уплотнением** медными кольцами (рис. 8.6, г) имеют широкое распространение благодаря простоте и надежности уплотнения. Соединения с торцовым уплотнением применяют для условных давлений до 32 МПа.

Медные уплотняющие кольца 1 допускают многократное использование их при демонтаже. Штуцер приваривают к подводящей трубе газовой сваркой.

**Поворотные соединения** (рис. 8.7) применяют для деталей, имеющих взаимное радиальное перемещение. Во многих случаях они заменяют рукава высокого давления.



**Рис 8.7. Соединения поворотные с уплотнениями:**  
1 – резиновые кольца

Поворотные соединения рассчитаны на условное давление до 32 МПа и наибольшую скорость вращения до  $\pi/6$  рад/с (5 мин<sup>-1</sup>). Выводы соединения приваривают к подводящим трубам газовой сваркой.

## 8.5. СВАРНЫЕ И ПАЯНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Сварные и паяные соединения служат для неразъемного соединения труб. Сварка применяется для труб, работающих в условиях большого давления и высокой температуры, и для присоединения других элементов трубопровода, в частности, деталей арматуры, вместо фланцевых соединений, имеющих большие размеры и не обеспечивающих достаточную герметичность. Формы швов, применяемых для сварки труб встык, показаны в табл. 8.21. В трубопроводах больших диаметров швы необходимо подвергать отжигу, чтобы снять внутренние напряжения.

Таблица 8.21

| Стыковые сварные швы для соединений жестких трубопроводов   |            |               |             |              |
|---|------------|---------------|-------------|--------------|
| Параметры   |            |               |             |              |
| $t$   | $\leq 2,5$ | $2,75 \div 4$ | $4 \div 10$ | $36 \div 40$ |
| $e$   | $0,5t$     | $1 \div 2$    | 2           | $2 \div 3$   |
| $\delta$  | –          | $0,5 \div 1$  | $1 \div 2$  | $1 \div 2$   |
| $\alpha^\circ$  | –          | 45            | 35          | 22           |
| Сварные швы приварной арматуры и фитингов   |            |               |             |              |
|   |            |               |             |              |
| $t=3$ мм, $t_1=t+1$ мм, $e=3$ мм, $d'=d+2t+1$ мм; $t=3$ мм, $e=1 \div 2$ мм, $\delta=1 \div 2$ мм;<br>$t'$ = от $t$ до $t+(1 \div 6)$ мм, $b=5 \div 20$ мм. Минимальные значения $t'$ и $b$ относят к $D_v \leq 25$ мм, максимальные – к $D_v \leq 350$ мм. |            |               |             |              |

## 8.6. ГИБКИЕ СОЕДИНЕНИЯ (РУКАВА ВЫСОКОГО И НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ)

Применяют в тех случаях, когда необходимо обеспечить соединение узлов, имеющих взаимное перемещение.

В гидроприводах применяют рукава высокого давления с одной (тип I), двумя (тип II) или тремя (тип III) металлическими оплетками (ГОСТ 6286–73) в зависимости от давления, при котором работают рукава (табл. 8.17).

Рукава предназначены для работы с нефтяными маслами. Рукава всех типов должны выдерживать испытательное давление, равное 1,25 номинального давления, и иметь трехкратный запас прочности. Во время работы рукавов нельзя допускать возможности их скручивания вдоль оси. При правильной эксплуатации рукавов срок их работы определяется двумя годами.

Выбор сечения (внутреннего диаметра и типа) рукавов производится исходя из номинального рабочего давления, на которое рассчитан гидропривод, и расхода рабочей жидкости через рукав.

Таблица 8.17

Основные размеры и параметры неармированных рукавов высокого давления (тип Z) по ГОСТ 6286-73.

| Внутренний диаметр рукава, мм | Наружный диаметр рукава, мм |        | R <sub>мин</sub> изгиба, мм |        | Рабочее давление (P), МПа (кгс/см <sup>2</sup> ) |            |
|-------------------------------|-----------------------------|--------|-----------------------------|--------|--|------------|
|                               | тип I                       | тип II | тип I                       | тип II | тип I  | тип II     |
| 5,0                           | 12,7                        | 15,9   | 90                          | 90     | 21,0 (210)                                       | 35,0 (350) |
| 6,0                           | 15,9                        | 17,5   | 100                         | 100    | 20,0 (200)                                       | 35,0 (350) |
| 6,3                           | 15,9                        | 17,5   | 100                         | 100    | 20,0 (200)                                       | 35,0 (350) |
| 8,0                           | 17,5                        | 19,1   | 115                         | 115    | 17,5 (175)                                       | 30,0 (300) |
| 10,0                          | 19,85                       | 21,4   | 130                         | 130    | 16,0 (160)                                       | 28,0 (280) |
| 12,0                          | 23,0                        | 24,6   | 180                         | 180    | 14,0 (140)                                       | 25,0 (250) |
| 12,5                          | 23,0                        | 25,0   | 180                         | 180    | 14,0 (140)                                       | 25,0 (250) |
| 16,0                          | 26,2                        | 27,8   | 205                         | 205    | 10,5 (105)                                       | 20,0 (200) |
| 19,0                          | 30,2                        | 31,8   | 240                         | 240    | 9,0 (90)   | 16,0 (160) |
| 20,0                          | 31,2                        | 32,8   | 240                         | 240    | 9,0 (90)   | 16,0 (160) |
| 22,0                          | 33,3                        | 34,9   | 280                         | 280    | 8,0 (80)   | 14,0 (140) |
| 25,0                          | 38,1                        | 39,7   | 300                         | 300    | 7,0 (70)   | 14,0 (140) |
| 31,5                          | 46,0                        | 50,5   | 420                         | 420    | 4,4 (44)   | 11,0 (110) |
| 32,0                          | 46,0                        | 50,5   | 420                         | 420    | 4,4 (44)   | 11,0 (110) |
| 38,0                          | 52,6                        | 57,15  | 500                         | 500    | 3,5 (35)   | 9,0 (90)   |
| 40,0                          | 54,6                        | 59,15  | 500                         | 500    | 3,0 (30)   | 8,0 (80)   |
| 50,0                          | 65,7                        | 68,85  | 630                         | 630    | 2,6 (26)   | 8,0 (80)   |
| 51,0                          | 66,7                        | 69,83  | 630                         | 630    | 2,6 (26)   | 8,0 (80)   |

Примечание. ГОСТ 6286 I-гр. – рукав с одной металлической оплеткой (отечественного производства); ГОСТ 6286 II-гр. – рукав с двумя металлическими оплетками (отечественного производства); DIN 20022 ISN – рукав с одной металлической оплеткой (импортного производства); DIN 20022 2SN – рукав с двумя металлическими оплетками (импортного производства); DIN 20022 4SN – рукав с четырьмя металлическими оплетками (импортного производства); ТУ 38 605111-90 – рукав с четырьмя металлическими оплетками (отечественного производства).

Заделку концов рукавов на номинальное давление 16 МПа с внутренними диаметрами 8 – 25 мм производят согласно рис. 8.8.

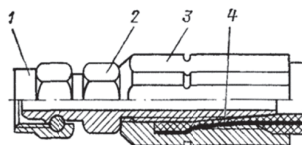


Рис. 8.8. Заделка рукавов высокого давления

При заделке рукавов внутренний и наружный резиновые слои срезаются до металлической оплетки на длину 10–12 мм. После этого на рукав 4 до упора надевается муфта 3. После этого в резьбовое отверстие муфты вводится ниппель 2 с накидной гайкой 1 и при закручивании по резьбе в муфту ниппель образует герметичное соединение со шлангом. Накидной гайкой 1 рукав соединяют с жестким трубопроводом или гидроприводом (табл. 8.18).

Таблица 8.18

Присоединительные параметры соединений с рукавами высокого давления

| Dy | Резьба    | Ключ | Рабочее давление, МПа |
|----|-----------|------|-----------------------|
| 6  | M 12x1,5  | 17   | 27                    |
|    | M 14x1,5  | 19   |                       |
| 8  | M 16x1,5  | 19   | 25                    |
| 10 | M18 x 1,5 | 22   | 15, 27                |
|    | M20x1,5   | 24   | 19, 35                |
| 12 | M22x1,5   | 27   | 16                    |
|    | M20x1,5   | 24   | 25                    |
| 16 | M27x1,5   | 32   | 13, 20                |
| 20 | M30x2     | 36   | 18                    |
|    | M30x1,5   |      | 40                    |
| 20 | M33x1,5   | 41   | 18                    |
|    | M33x2     |      | 40                    |
| 25 | M42x2     | 50   | 16, 25                |

Примечание. Dy – условный проход внутреннего диаметра рукава, мм; резьба – гайка с присоединительной резьбой; ключ – размер под гаечный ключ.

## 8.7. МОНТАЖ ТРУБОПРОВОДОВ

Трубопроводы должны располагаться в местах, где исключена возможность их механического повреждения, они не должны закрывать доступ к узлам, требующим регулировки, а также должны быть надежно закреплены во избежание вибрации и смещения.

Скобы для крепления труб следует устанавливать возможно ближе к коленам или изгибам. При расположении на трубах каких-либо тяжелых устройств, не требующих специальных опор, расстояния между скобами для крепления труб уменьшают (табл. 8.19).

Таблица 8.19

Рекомендуемые расстояния между опорами для крепления труб, (мм)

| Наружный диаметр трубы, мм           | 6   | 8   | 10  | 12  | 15  | 18  | 24  | 30  |
|--------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Расстояние между опорами или скобами | 400 | 450 | 500 | 550 | 600 | 650 | 700 | 800 |

Гидравлические трубопроводы необходимо проектировать и монтировать без местных возвышений для того, чтобы в них не скапливался воздух, а также не допускать уклонов и изгибов, препятствующих сливу жидкости.

В воздухопроводах следует избегать резких изменений направления движения воздуха и «воздушных мешков», способствующих выделению влаги и скоплению конденсата и предусматривать выпускные устройства для конденсата перед началом работы и во время работы.

Радиусы гибки стальных труб не должны быть меньше значений, приведенных в табл. 8.20.

Таблица 8.20

Наименьший радиус гибки стальных труб  $R$ , (мм)

| Диаметр трубы, мм |     | Радиус гибки $R$ , мм |         |
|-------------------|-----|-----------------------|---------|
|                   |     | Толщина стенки, мм    |         |
| от                | до  | до 2                  | свыше 2 |
| 5                 | 20  | 4d                    | 3d      |
| 20                | 35  | 5d                    | 3d      |
| 35                | 60  | –                     | 4d      |
| 60                | 140 | –                     | 5d      |

Желательно иметь свободный доступ ко всем элементам трубопровода, делать возможной разборку частей трубопровода без снятия агрегатов. Для облегчения монтажа применять отоженные медные и латунные трубы.

Соединения медной трубы с ниппелем рекомендуется пропаивать для часто разбираемых частей трубопровода.

Соединительные элементы трубопроводов располагают так, чтобы можно было выполнять сборку и разборку каждого соединения в отдельности.

**Компенсаторы.** При большой длине трубопровода предусматривают компенсаторы – петлю для компенсации температурных расширений.

Трубопровод длиной  $l_0$ , температура которого при монтаже или в нерабочем состоянии составляет  $t_0$ , в результате повышения его температуры до  $t$ , т. е. на  $\Delta t = t - t_0$ , получает удлинение

$$\Delta l_0 = \alpha l_0 \Delta t,$$

где  $\alpha$  – среднее значение коэффициента теплового расширения в интервале температур от  $t_0$  до  $t$ ; следовательно, длина трубопровода становится равной

$$l = l_0 + \Delta l_0 = l_0(1 + \alpha \Delta t).$$

Тепловое расширение трубопроводов можно компенсировать либо путем применения специальных компенсационных участков трубопровода, либо посредством компенсаторов с упругими или подвижными частями (сильфонами) (рис. 8.9).

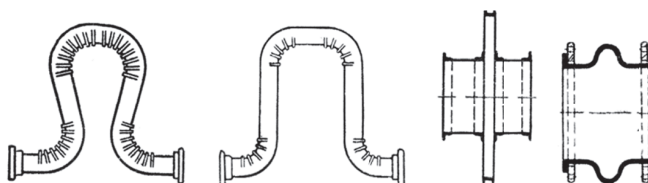


Рис. 8.9. Тепловые компенсаторы

Их подбирают таким образом, чтобы тепловое расширение одной части компенсировалось деформациями изгиба соединенных частей в плоских системах или деформациями изгиба и кручения в пространственных системах.

**Резьбовые соединения трубопровода.** В штуцерах, которыми трубопроводы присоединяются к агрегатам, применяют цилиндрическую или коническую резьбы. Преимущества конической резьбы в том, что она не требует уплотняющих прокладок. В соединениях, подвергаемых частой разборке, *коническую резьбу* применять не следует, так как она выдерживает без потери герметичности не более пяти переборок.

При сборке соединений с *цилиндрической трубной резьбой* герметичность резьбового соединения обеспечивают затяжкой (с прокладкой) соединения на сбеги резьбы. Если такое соединение невозможно, то герметичность резьбового соединения обеспечивается затяжкой с контргайкой. Для этого на удлиненный участок резьбы сгона наворачивают контргайку и затем муфту. После стыковки сгона с резьбовым концом трубы муфту наворачивают с прокладкой на этот резьбовой конец трубы и затягивают на сбеги, а затем затяжкой контргайки с прокладкой выбирают зазоры в резьбе между сгоном и муфтой.

Для возможности перемещения одних частей механизма относительно других применяют соединения при помощи гибкого шланга. При этом не допускают возможность скручивания шланга вдоль его оси при его эксплуатации. В местах присоединения трубопровода к шлангам должны быть предусмотрены опоры. Радиус изгиба шланга должен быть не менее десяти наружных диаметров шланга.

**Проверка на герметичность.** Смонтированную систему проверяют на герметичность (обычно давлением, которое в полтора раза больше рабочего давления).



## Глава 9

# МУФТЫ, ХРАПОВЫЕ МЕХАНИЗМЫ, ТОРМОЗА

### 9.1. НАЗНАЧЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ МУФТ

В машинах для передачи движения от одного механизма к другому, выполненных как самостоятельная сборочная единица (редуктор, вариатор, двигатель и т.п.), применяются устройства – муфты, которые соединяют их входные и выходные валы.

При соединении валов муфты могут выполнять также другие функции:

- соединять и разъединять валы;
- предохранять механизмы от поломок;
- компенсировать несовпадение осей по высоте и по углу;
- амортизировать вибрации и толчки;
- работать с механизмами с изменяющейся окружной скоростью и др.

В справочной и другой технической литературе, а также в каталогах, подробно представлены технические параметры муфт в зависимости от требуемых свойств и передаваемой нагрузки, элементы конструкции и технические требования, которые необходимо выполнять при монтаже и эксплуатации муфт.

Поэтому при проектировании механических приводных устройств и механизмов редко возникает необходимость разрабатывать оригинальные конструкции муфт. Задача, в большинстве случаев, сводится к подбору муфты в соответствии с техническими требованиями, которые к ней предъявляются.

Основным конструктивным показателем при выборе муфты является номинальный диаметр соединяемых валов. Затем после выбора муфты может возникнуть необходимость в проверке ее технических показателей, что связано с определением расчетного вращающего момента, частоты вращения и условий эксплуатации, а также, при необходимости, прочности соединительных деталей.

Основным техническим показателем при подборе муфты является передаваемый муфтой крутящий (номинальный) момент –  $T_{ном}$ , который является основой для определения момента –  $T_{расч}$ , учитывающего условия нагружения муфты, и называемый *расчетным крутящим моментом*. Значение  $T_{расч}$  зависит от допускаемого крутящего момента –  $[T]$ , указываемого в каталоге:

$$T_{расч} = k T_{ном} \leq [T],$$

где  $T_{ном} = P/\omega$  – крутящий момент, передаваемый муфтой при установившемся режиме работы (номинальный момент), определяемый по мощности  $P$  и угловой скорости  $\omega$ ;  $k$  – коэффициент динамичности или режима работы (перегрузки), учитывающий дополнительные динамические нагрузки на муфту; его значение зависит от рода приводного двигателя и назначения рабочей машины. Для привода от электродвигателя принимают: при спокойной нагрузке  $k=1,15...1,4$ ; при переменной нагрузке  $k=1,5...2$ ; при ударной нагрузке  $k=2,5...3$ .

С учетом инерционных масс

$$T_{расч} = T_{ном} \frac{J_1 + J_2}{J_1},$$

где  $J_1$  и  $J_2$  – моменты инерции вращающихся масс ведущего и ведомого валов с насаженными на них деталями, приведенными к оси того вала, на который устанавливается муфта;  $T_{ном}$  – номинальный вращающий момент.

Вместо момента инерции для муфт может быть указан маховой момент

$$GD^2 = 4Jg, \text{ Н}\cdot\text{м}^2$$

где  $G$  – вес вращающихся деталей на валу, Н;  $D$  – диаметр окружности вращающихся масс (обода маховика), м,  $g=9,81 \text{ м/с}^2$ .

При работе важной характеристикой муфты являются ее демпфирующие свойства, т.е. упругие свойства и способность сглаживать (поглощать) резкие колебания передаваемого крутящего момента и угловой скорости ведомого вала. Поэтому жесткие и упругие муфты с постоянной жесткостью в этих условиях могут быть использованы при небольших колебаниях крутящего момента. Если неблагоприятные условия нагружения привода, то нормальные условия работы привода обеспечат упругие муфты с переменной жесткостью и упругодемпфирующие муфты малой жесткости, которые обладают эффективными виброизолирующими свойствами.

При выборе конструкции муфты следует учитывать ее возможность работать при тех или иных отклонениях от идеально правильного относительного расположения соединяемых валов.

По этому признаку различают муфты:

- а) *простые*, не предусматривающие компенсации отклонений и потому требующие весьма точного взаимного расположения валов или использования соединения в качестве опоры для одного вала;
- б) *компенсирующие*, допускающие небольшие монтажные отклонения по всем координатам относительного положения валов за счет деформации или относительного сдвига деталей муфты;
- в) *подвижные*, допускающие значительные отклонения валов по всем или некоторым координатам относительного положения валов за счет подвижности в кинематических парах муфт.

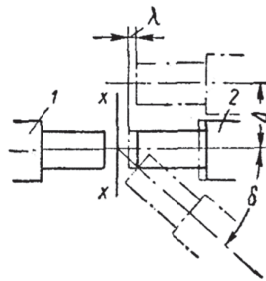


Рис 9.1. Возможные отклонения положения концов валов от геометрической соосности

Различают три вида отклонений от идеально правильного геометрического расположения концов валов (рис 9.1):  
 а) продольное смещение в осевом направлении  $\lambda = \Delta z$ , где  $\Delta z$  – осевое смещение валов;  
 б) поперечное смещение  $\Delta = \Delta r$ , наибольшее значение которого

$$\Delta_{\max} = \Delta_{21} + \Delta_1 + \Delta_2,$$

где  $\Delta_{21}$  – линейное смещение оси вращения вала 2 относительно оси вращения вала 1, измеренное в плоскости  $x - x$ , которая является средней плоскостью муфты и связана с осью вала 1;  $\Delta_1$  – линейное смещение геометрической оси цапфы относительно оси вращения для вала 1, измеренное в плоскости  $x - x$ ;  $\Delta_2$  – то же, но для вала 2;

$\Delta r$  – радиальное смещение соединяемых валов;

в) угловое смещение  $\delta = \Delta \gamma$  (перекос), наибольшая величина которого

$$\delta_{\max} = \delta_{21} + \delta_1 + \delta_2,$$

где  $\delta_{21}$  – угол между осями вращения валов;  $\delta_1$  – угол между геометрической осью цапфы и осью вращения для вала 1;  $\delta_2$  – то же, но для вала 2.

Обычно смещениями  $\Delta_1$  и  $\Delta_2$ ,  $\delta_1$  и  $\delta_2$  пренебрегают вследствие их малости по сравнению со смещениями  $\Delta_{21}$  и  $\delta_{21}$ .

г) угол закручивания  $\Delta \varphi$  – при номинальном вращающем моменте.

При постоянном направлении вращения и умеренно нагруженных валах ( $\tau \approx 15$  МПа) полумуфты устанавливают на цилиндрических концах валов со шпонками по переходным посадкам (H7/m6, H7/k6). При реверсивной работе, а также при тяжело нагруженных валах ( $\tau > 15$  МПа) применяют посадки с натягом (H7/n6, H7/p6). При такой установке муфт на валах могут возникнуть проблемы при их демонтаже. Поэтому целесообразно муфты, предназначенные для работы с большими нагрузками, устанавливать на конусные концы валов. При такой посадке муфты на вал можно создать значительный натяг в соединении и обеспечить точное радиальное и угловое положение полумуфты относительно вала.

## 9.2. МУФТЫ СОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ ЖЕСТКИЕ

### 9.2.1. МУФТЫ ВТУЛОЧНЫЕ

Простая по конструкции среди жестких неразъемных муфт (ГОСТ 24246–96) (рис.9.2), представляет собой цельную втулку, которая устанавливается на концы валов и скрепляется с ними штифтами (исполнение 1) (рис. 9.2, а), шпоночным соединением с призматическими шпонками (исполнение 2) или с сегментными шпонками (исполнение 3) (рис. 9.2, б) и шлицевым соединением (исполнение 4).

Втулочные муфты, отличающиеся простотой конструкции, нашли широкое применение в машинах для соединения валов диаметром от 6 до 100 мм при номинальных вращающих моментах: для штифтового соединения от 1,0 до 4500 Н·м; для шпоночного – до 6300 Н·м и для шлицевого соединения – до 12500 Н·м.

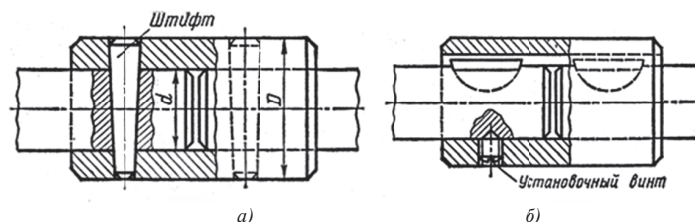


Рис. 9.2. Жесткие муфты

Внутренний диаметр  $d$  втулки должен соответствовать диаметрам соединяемых валов, а наружный диаметр  $D \approx (1,5 \dots 2,0) d$  мм. Ее длину принимают  $l \approx (3 \div 3,5) d$  для исполнений 1, 2 и 3 и  $l \approx (2 \div 2,5) d$  для исполнения 4. Применение этих муфт ограничено тем, что при сборке и разборке соединения требуются значительные смещения валов в осевом направлении, а также тем, что эти муфты требуют очень точного совмещения осей соединяемых валов (для исключения сил, изгибающих валы). Материал втулок – сталь 35, 40, 45, а втулок больших размеров – чугун СЧ18, СЧ24 и др.

Прочность муфты определяется проверочным расчетом на прочность ее соединения с валом – штифтового, шпоночного или шлицевого.

### 9.2.2. МУФТЫ ФЛАНЦЕВЫЕ

Поперечно-свертная жесткая фланцевая муфта с разъемом в плоскости, перпендикулярной оси вала (рис. 9.3, а, б, в), находит широкое применение в машинах для соединения валов (табл. 9.1).

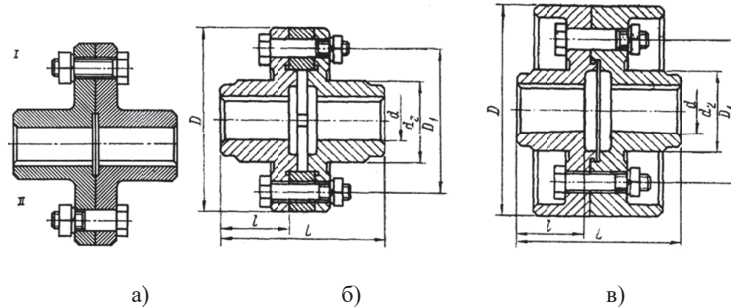


Рис. 9.3. Жесткая фланцевая муфта

Муфта состоит из двух полумуфт, насаживаемых на концы валов и соединяемых между собой болтами. Полумуфты соединяются болтами, которые могут устанавливаться с зазором (вариант I) и без зазора (вариант II) (рис. 9.3, а).

В первом случае (вариант I) момент передается силами трения, которые создаются на стыке торцов полумуфт при затяжке болтов, и болты проверяют на растяжение:

$$\sigma_p = 1,3R_l / \pi(d_p^2/4) \leq [\sigma]_p,$$

где  $d_p$  – расчетный диаметр резьбы болта, мм;  $R_l$  – усилие, растягивающее болт, Н;

$R_l = 2kT_p / (D_0zf)$ , где  $D_0$  – диаметр окружности, проходящей через центры болтов, мм;  $z$  – число болтов;  $f \approx 0,1$  – коэффициент трения на торцах полумуфты;  $k$  – коэффициент, учитывающий характер нагрузки.

Во втором случае (вариант II) момент передается непосредственно болтами, которые работают на срез:

$$\tau_{cp} = 2kT_p / D_0z\pi(d^2/4) \leq [\tau]_{cp},$$

где  $d$  – наружный диаметр стержня болта, мм.

Таблица 9.1

Значения коэффициента  $k$ , учитывающего характер нагрузки

| Характер нагрузки   | Типы машин   | k        |
|---|--|----------|
| Постоянная с кратковременными перегрузками до 120% от номинальной | Конвейеры ленточные. Станки токарные, шлифовальные, фрезерные  | 1,15-1,2 |
| Переменная, с колебаниями в пределах до 150% от номинальной       | Конвейеры цепные, пластинчатые, винтовые; станки деревообрабатывающие, центробежные насосы   | 1,3-1,5  |
| Со значительными колебаниями до 200% от номинальной               | Конвейеры скребковые, ковшовые (элеваторы); станки металлообрабатывающие с возвратно-поступательным движением, реверсивные приводы | 1,7-2,0  |
| Ударная, достигающая 300% от номинальной                          | Поршневые насосы и компрессоры; прессы и молоты, дробилки, шаровые мельницы  | 2,5-3,0  |

Муфты с болтами, поставленные без зазора (вариант 2), могут передавать большие моменты, чем когда болты муфты ставят с зазором (вариант 1).

Полумуфты могут быть изготовлены из стали 40, стального литья 35Л, чугуна СЧ20, СЧ32 и др.

Фланцевая муфта проста по конструкции и может воспринимать большие нагрузки, в том числе и ударного действия, поэтому в машиностроении ее применяют довольно часто для соединения валов диаметром до 250 мм. Для жесткого соединения валов большого диаметра полумуфты выполняют за одно целое с валами или отдельно и приваривают к валам. Основные технические параметры фланцевых муфт приведены в табл. 9.2.

Основные технические параметры фланцевых муфт, мм

| Номинальный вращающий момент $T_{ном}$ , Н·м<br>для муфт |          | $d$ , по Н7                     | $D$ ,<br>не<br>более | $l$ , не более |     | $L$ , не более |     |
|--|----------|---------------------------------|----------------------|----------------|-----|----------------|-----|
|  |          |                                 |                      | для исполнений |     |                |     |
| стальных   | чугунных |                                 |                      | I              | II  | I              | II  |
| 16,0   | 8,0      | 11, 12, 14                      | 80                   | 30             | 25  | 63             | 53  |
|  |          | 16, 18                          |                      | 40             | 28  | 84             | 60  |
| 31,5   | 16,0     | 16; 18, (19)                    | 90                   | 40             | 28  | 84             | 60  |
|  |          | 20, 22                          |                      | 50             | 36  | 104            | 76  |
| 63,0   | 31,5     | 20, 22, (24)                    | 100                  | 50             | 36  | 104            | 76  |
|  |          | 25, 28                          |                      | 60             | 42  | 124            | 83  |
| 125,0  | 63,0     | 25, 28                          | 112                  | 60             | 42  | 124            | 83  |
|  |          | 30, 32, 35, 36                  |                      | 80             | 58  | 170            | 120 |
| 160,0  | 80,0     | 30, 32, 35                      | 130                  |                |     |                |     |
|  |          | 36, (38)                        |                      |                |     |                |     |
| 250,0  | 125,0    | 32, 35, 36, (38)                | 140                  | 110            | 82  | 230            | 170 |
|  |          | 40, (42), 45                    |                      | 80             | 58  | 170            | 120 |
| 400,0  | 200,0    | 35, 36, (38)                    | 150                  | 110            | 82  | 230            | 170 |
|  |          | 40, (42), 45, (48), 50          |                      | 140            | 105 | 290            | 220 |
| 630,0  | 315,0    | 45, (48), 50, (53), 55,<br>(56) | 170                  | 110            | 82  | 230            | 170 |
|  |          | 60                              |                      | 140            | 105 | 290            | 220 |
| 1000,0   | 500,0    | 50, (53), 55, (56)              | 180                  | 110            | 82  | 230            | 170 |
|  |          | 60, 66, (65),<br>70, 71         |                      | 140            | 105 | 290            | 220 |
| 1600,0   | 800,0    | 60, 63, (65),<br>70, 71, 75     | 190                  | 170            | 130 | 350            | 270 |
|  |          | 80, 85                          |                      | 140            | 105 | 290            | 220 |
| 2 500,0  | 1250,0   | 70, 71, (75)                    | 224                  | 170            | 130 | 350            | 270 |
|  |          | 80, 85, 90, (95)                |                      | 210            | 165 | 430            | 340 |
|  |          | 100                             |                      | 170            | 130 | 350            | 270 |
| 4 000,0  | 2 000,0  | 80; (85), 90; (95)              | 250                  | 210            | 165 | 430            | 340 |
|  |          | 100, (105), 110                 |                      | 170            | 130 | 350            | 270 |
| 10 000,0   | 5 000,0  | (95)                            | 320                  | 250            | 200 | 510            | 410 |
|  |          | 100, (105), 110, (120),<br>125  |                      | 300            | 140 | 610            | 490 |
|  |          | 160                             |                      | 210            | 165 | 430            | 340 |
| 16000,0  | 8 000,0  | 125                             | 360                  | 250            | 200 | 510            | 410 |
|  |          | (130), 140, (150)               |                      | 300            | 240 | 610            | 490 |
|  |          | 160, (170), 180                 |                      | 250            | 200 | 510            | 410 |
| 25 000,0   | 12 500,0 | (150)                           | 400                  | 300            | 240 | 610            | 490 |
|  |          | 160, (170), 180                 |                      | 350            | 280 | 710            | 570 |
|  |          | (190), 200, 210                 |                      | 300            | 240 | 610            | 490 |
| 40 000,0   | 20 000,0 | 180                             | 515                  | 350            | 280 | 710            | 570 |
|  |          | (190), 200, 210, 220            |                      | 410            | 330 | 830            | 670 |
|  |          | 240, 250                        |                      |                |     |                |     |

Примечание. Размеры без скобок предпочтительны для применения.

Расчет фланцевой муфты заключается в проверочном расчете на прочность ее болтов и соединения полумуфт с валами – шпоночного, шлицевого, с натягом и сваркой.

Для обеспечения соосности совмещения валов предусматривают в конструкциях муфт центрирующие пояски и центрирующие кольца (рис. 9.3, б, в).

В муфтах (рис. 9.3, а) центрирование полумуфт и восприятие нагрузки может производиться болтами, поставленными без зазора через один.

Допускаемая максимальная окружная скорость для муфт из стали  $v \leq 70$  м/с, для муфт из чугуна –  $v \leq 35$  м/с.

### 9.3. МУФТЫ КОМПЕНСИРУЮЩИЕ САМОУСТАНОВЛИВАЮЩИЕСЯ

Муфты компенсирующие самоустанавливающиеся предназначены для соединения валов диаметром от 40 до 560 мм (рис. 9.4).

## 9.3.1. МУФТЫ ЗУБЧАТЫЕ

Муфта (ГОСТ 5006–83) состоит из двух полумуфт 1 с наружными зубьями, которые находятся в зацеплении с внутренними зубьями двух половин обоймы 2. Полумуфты закрепляют на концах соединяемых валов. Половины обоймы соединяют между собой болтами 3.

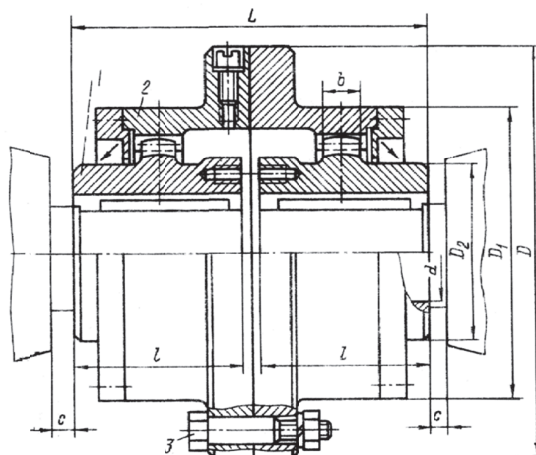


Рис. 9.4. Компенсирующая самоустанавливающаяся зубчатая муфта

Зубья полумуфт и зубья обоймы имеют эвольвентный профиль, аналогичный эвольвентному профилю зубьев зубчатых колес, что позволяет нарезать их нормальным зуборезным инструментом. Зубчатая муфта позволяет компенсировать любые взаимные смещения валов – осевые, радиальные и угловые, так как ее зубчатое зацепление выполняется с боковым зазором и возможностью свободного осевого взаимного смещения сопряженных зубьев, кроме того, зубья изготовляют бочкообразной формы со сферической наружной поверхностью.

Широкое применение в машиностроении зубчатых муфт объясняется рядом их достоинств: небольшими габаритами и массой, большой нагрузочной способностью из-за участия большого числа одновременно сцепляющихся зубьев; допустимостью высоких окружных скоростей (более 25 м/с) и технологичностью изготовления.

Полумуфты и половины обоймы изготовляют из сталей 40, 40Х, 45 или из стального литья Сталей 45Л, 50Л и др.

Для повышения износостойкости зубья подвергают термообработке до твердости HRC < 40 для зубьев полумуфт и HRC < 35 для зубьев обоймы. Тихоходные зубчатые муфты (при  $v < 5$  м/с) изготовляют с твердостью зубьев HB > 280.

Для уменьшения износа зубьев муфты в ее обойму заливают масло большой вязкости.

Муфта допускает передачу крутящего момента от 1000 до 63000 Н·м для диаметров валов от 40 до 200 мм. Перекос каждой полумуфты относительно оси обоймы допускается до  $1^\circ 30'$ .

Основные технические параметры зубчатых муфт приведены в табл. 9.3 в зависимости от диаметра вала  $d$  и крутящего момента  $T_{ном}$  муфты.

Таблица 9.3

Основные технические параметры зубчатой муфты по ГОСТ 5006–83

| $T_{ном}$ , Н·м | $d$ , мм | $D$ | $D_1$ | $D_2$ | $l$ | $L$ | $c$ | $n_{max}$ , мин <sup>-1</sup> | Момент инерции, Н*м | Масса, кг | $m$ | $z$ | $b$ |
|-----------------|----------|-----|-------|-------|-----|-----|-----|-------------------------------|---------------------|-----------|-----|-----|-----|
| 1000            | 40       | 145 | 105   | 60    | 82  | 174 | 12  | 5400                          | 0,5                 | 6,7       | 2,5 | 30  | 12  |
| 1600            | 55       | 170 | 125   | 80    |     |     |     | 4800                          | 0,6                 | 9,2       |     | 38  | 15  |
| 2500            | 60       | 185 | 135   | 85    | 105 | 220 | 18  | 4500                          | 0,8                 | 10,2      | 3,0 | 36  | 20  |
| 4000            | 65       | 200 | 150   | 95    |     |     |     | 3720                          | 1,5                 | 15,2      |     | 40  |     |
| 6300            | 80       | 230 | 175   | 115   | 130 | 270 | 18  | 3300                          | 2,5                 | 22,6      | 3,0 | 48  | 25  |
| 10 000          | 100      | 270 | 200   | 145   |     |     |     | 2820                          | 5,0                 | 36,9      |     | 56  |     |
| 16 000          | 120      | 300 | 230   | 175   | 165 | 345 | 25  | 2400                          | 11,5                | 62,5      | 4,0 | 48  | 30  |
| 25 000          | 140      | 330 | 260   | 200   |     |     |     | 2100                          | 22,5                | 100,0     |     | 56  |     |
| 40 000          | 160      | 410 | 330   | 230   | 200 | 415 | 30  | 1740                          | 60,0                | 164,3     | 6,0 | 46  | 35  |
| 63 000          | 200      | 470 | 390   | 290   |     |     |     | 1200                          | 105,0               | 228,0     |     | 56  | 40  |

$$T_{расч} \geq k k_1 k_2 T \leq T_{ном}$$

где  $T = P/\omega$  – крутящий момент, передаваемый муфтой при установившемся режиме работы, определяемый по мощности  $P$  и угловой скорости  $\omega$ ;

$k$  – коэффициент динамичности или режима работы, учитывающий дополнительные динамические нагрузки на муфту; его значения принимают: при спокойной нагрузке  $k = 1,0$ ; при переменной нагрузке  $k = 1,1, 1,3$ ; при ударной нагрузке  $k = 1,3, \dots, 1,5$ ;

$k_1$  – коэффициент безопасности,  $k_1 = 1,0 \dots 1,8$  принимают в зависимости от последствий, которые повлечет за собой поломка муфты: 1,0 – остановка машины; 1,5 – авария машины; 1,8 – человеческие жертвы.

$k_2$  – коэффициент углового смещения (табл. 9.4).

Значения коэффициента углового смещения  $k_2$ 

|                    |       |      |      |      |
|--------------------|-------|------|------|------|
| Угол перекоса вала | 0,25° | 0,5° | 1,0° | 1,5° |
| Коэффициент $k_2$  | 1,0   | 1,25 | 1,5  | 1,75 |

Проверочный расчет зубчатых муфт после выбора типоразмера проводят из условия смятия зубьев по формуле (для подвижного шлицевого соединения)

$$\sigma_{см} = \frac{kT}{D_0^2 b \cdot 0,9} \leq [\sigma]_{см},$$

где  $T$  – передаваемый момент, Н·м;  $k$  – коэффициент динамичности или режима работы;  $d' = zm$  – диаметр делительной окружности, мм;  $z$  и  $m$  – число зубьев и модуль зацепления, мм; допустимое удельное давление  $[\sigma]_{см} = 12 \dots 15$  МПа;  $b$  – длина зуба, мм.

В последнее время отдельные элементы зубчатых муфт изготавливают из пластмасс, которые придают муфтам упругие и демпфирующие свойства и повышенную износостойкость (рис. 9.5 и табл. 9.5).

Муфты предназначены в основном для соединения валов электродвигателей и насосов.

Допускаемое осевое смещение валов  $\pm 1$  мм; допускаемое угловое смещение соединяемых валов  $\pm 1^\circ$ ; допускаемое радиальное смещение соединяемых валов до 1 мм.

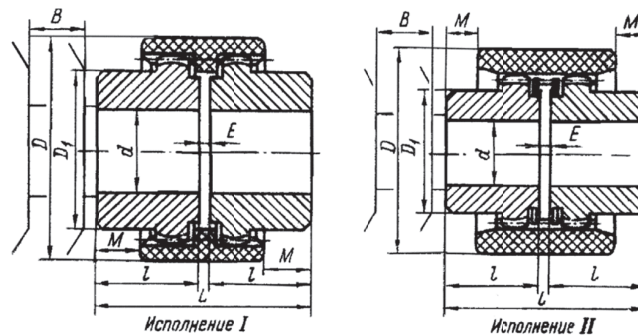


Рис. 9.5. Муфта зубчатая с пластмассовой обоймой

Таблица 9.5

Основные технические параметры муфты с пластмассовой обоймой, мм

| Исполнение | $T_{ном}$ , Н·м | $n_{max}$ , мин <sup>-1</sup> | $B$ | $l$ | $F$ | $L$ | $M$  | $D_1$ | $D$ | $d$ | Момент инерции, Н·м <sup>2</sup> | Масса, кг |
|------------|-----------------|-------------------------------|-----|-----|-----|-----|------|-------|-----|-----|----------------------------------|-----------|
| I          | 20              | 14000                         | 15  | 23  | 4   | 50  | 6,5  | 25    | 40  | 14  | 10,0                             | 0,175     |
|            | 32              | 14000                         | 16  | 25  |     | 54  | 8,5  | 32    | 48  | 19  | 10,86                            | 0,226     |
|            | 40              | 10800                         | 17  | 26  |     | 56  | 7,5  | 36    | 52  | 24  | 30,66                            | 0,316     |
|            | 90              | 8500                          | 20  | 40  |     | 84  | 19   | 44    | 66  | 28  | 120,89                           | 0,739     |
|            | 120             | 7500                          | 20  | 40  |     | 84  | 18   | 50    | 76  | 32  | 210,88                           | 0,950     |
|            | 160             | 6700                          | 20  | 40  |     | 84  | 18   | 58    | 83  | 38  | 340,75                           | 1,220     |
|            | 200             | 6000                          | 22  | 42  |     | 88  | 19   | 65    | 92  | 42  | 570,12                           | 1,490     |
|            | 280             | 5600                          | 22  | 50  |     | 104 | 27   | 68    | 100 | 48  | 730,36                           | 1,810     |
|            | 760             | 4000                          | 32  | 70  |     | 144 | 35   | 36    | 140 | 65  | 3940,20                          | 5,18      |
| II         | 1400            | 3150                          | 45  | 90  | 6   | 186 | 46,5 | 124   | 175 | 80  | 14820,00                         | 11,5      |
|            | 2400            | 3000                          | 45  | 110 | 8   | 228 | 63   | 152   | 210 | 100 | 38440,00                         | 20,5      |
|            | 5000            | 2120                          | 55  | 140 | 10  | 290 | 7S   | 192   | 270 | 12S | 131500,00                        | 42,3      |

### 9.3.2. МУФТЫ ЦЕПНЫЕ

Муфты цепные выполняют в различных модификациях: с однорядными и двухрядными роликowymi или зубчатыми цепями. Зазоры в зацеплении цепей со звездочками определяют возможные смещения в радиальном направлении и угловое; осевое смещение ограничено торцовым зазором.

На рис. 9.6 показана муфта по ГОСТ 20742-93 с однорядной цепью, которая в обхват входит в зацепление с зубьями звездочек полумуфт, которыми соединяются валы. Муфта заключена в разъемный корпус из алюминиевого сплава.

Монтажный зазор между торцами  $s = 1 \div 2$  мм; допускаемое угловое смещение  $\Delta\gamma \leq 1^\circ$ ; радиальное смещение –  $\Delta r \geq 0,5$  мм при диаметре вала 20 мм и  $\Delta r = 1,2$  мм при  $d \geq 40$  мм.

При проверочном расчете выбранной муфты ограничиваются определением коэффициента запаса прочности  $s$  для цепи муфты:



$$s = Q/PK_0 \geq [s],$$

где  $P=2M_p/d_0$  – окружное усилие на делительном диаметре звездочки;

$K_0$  – динамический коэффициент и значение коэффициента и  $[s]$  – технические параметры цепи муфты.

Муфты производят с отверстиями для цилиндрических концов валов (тип 1); для конических – (тип 2); для прямобочных и эвольвентных шлицев (тип 3 и 4). Отверстия для цилиндрических и конических концов валов могут быть длинными (Д) и короткими (К).

Основные технические параметры муфт приведены в табл. 9.6.

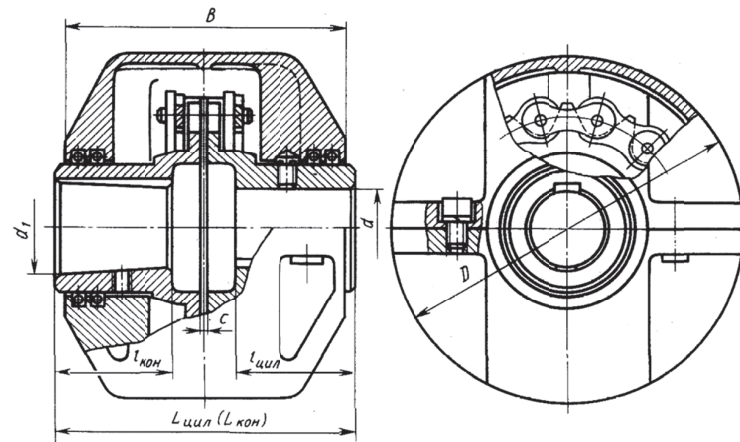


Рис. 9.6. Муфта цепная однорядная

Таблица 9.6

Основные технические параметры цепной муфты, (мм)

| Т <sub>ном</sub><br>Н·м | d                         | d <sub>1</sub>                  | D   | L   |     | l   |     | Δr  | n <sub>max</sub> ,<br>мин <sup>-1</sup> | Цепь по ГОСТ<br>13568-97 | z   | c   | Масса,<br>кг |      |      |                 |    |     |       |
|-------------------------|---------------------------|---------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|--------------------------|-----|-----|--------------|------|------|-----------------|----|-----|-------|
|                         |                           |                                 |     | Тип |     |     |     |     |   |                          |     |     |              |      |      |                 |    |     |       |
|                         |                           |                                 |     | 1   |     | 2   |     |     |   |                          |     |     |              | 3, 4 |      | 1               |    | 2   |       |
| Д                       | К                         | Д                               | К   | Д   | К   | Д   | К   | Д   | К                                       | Д                        | К   |     |              |      |      |                 |    |     |       |
| 63                      | 20, 22, 24                | 25, 28                          | 110 | –   | 102 | 108 | 80  | 102 | –                                       | 36                       | 39  | 25  | 36           | 0,15 | 1620 | ПР- 19,50-31 80 | 12 | 1,3 | 3,30  |
|                         | –                         |                                 |     | 122 | 128 | 92  | 122 | –   | 42                                      | 45                       | 27  | 42  |              |      |      |                 |    |     |       |
| 125                     | 30                        | 35, 36                          | 125 | –   | –   | –   | –   | –   | –                                       | –                        | –   | –   | –            | 0,20 | 1380 | ПР- 25,4-6000   | 10 | 1,8 | 3,85  |
|                         | 32                        |                                 |     | 206 | 162 | 188 | 124 | 162 | 80                                      | 58                       | 61  | 39  | 58           |      |      |                 |    |     | 4,10  |
| 250                     | 32, 36,                   | 36, (38)                        | 140 | –   | –   | –   | –   | –   | –                                       | –                        | –   | –   | –            | 0,20 | 1200 | ПР- 25,4-6000   | 12 | 1,8 | 4,20  |
|                         | 40, (42), 45              |                                 |     | 278 | 222 | 228 | 172 | 222 | 110                                     | 82                       | 85  | 67  | 82           |      |      |                 |    |     | 5,05  |
| 500                     | 40, (42) 46,              | (48), 50 (53),<br>55, (56)      | 200 | –   | –   | –   | –   | –   | –                                       | –                        | –   | –   | –            | 0,40 | 1020 | ПР-31,75-8850   | 14 | 2,0 | 12,85 |
|                         | 50 (53),<br>55, (56)      |                                 |     | 280 | 224 | 230 | 174 | 224 | 110                                     | 82                       | 85  | 57  | 82           |      |      |                 |    |     | 13,40 |
| 1000                    | 60 63,                    | (65),<br>70 71                  | 210 | –   | –   | –   | –   | –   | –                                       | –                        | –   | –   | –            | 0,40 | 780  | ПР-50,8-22680   | 12 | 3,5 | 14,00 |
|                         | 354                       |                                 |     | 284 | 290 | 220 | 284 | 140 | 105                                     | 108                      | 73  | 105 | 13,45        |      |      |                 |    |     |       |
| 2000                    | 63, (65), 70,             | 71 (75)<br>80, 85<br>90         | 280 | –   | –   | –   | –   | –   | –                                       | –                        | –   | –   | –            | 0,6  | 720  | ПР-50,8-22680   | 12 | 3,8 | 18,85 |
|                         | 354                       |                                 |     | 284 | 290 | 220 | 284 | 140 | 105                                     | 108                      | 73  | 105 | 19,50        |      |      |                 |    |     |       |
| 4000                    | 80, (85)                  | 90<br>(95)<br>100<br>(105), 110 | 310 | –   | –   | –   | –   | –   | –                                       | –                        | –   | –   | –            | 0,6  | 720  | ПР-50,8-22680   | 14 | 3,8 | 28,60 |
|                         | 424                       |                                 |     | 344 | 352 | 272 | 344 | 170 | 130                                     | 134                      | 94  | 130 | 38,95        |      |      |                 |    |     |       |
| 8000                    | 100, (105),<br>110, (120) | 125<br>(130)<br>140             | 350 | –   | –   | –   | –   | –   | –                                       | –                        | –   | –   | –            | 0,7  | 540  | ПР-50,8-22680   | 16 | 3,8 | 44,50 |
|                         | 514                       |                                 |     | 424 | 432 | 342 | 424 | 210 | 165                                     | 169                      | 124 | 165 | 45,00        |      |      |                 |    |     |       |
|                         |                           |                                 |     | 604 | 504 | 512 | 408 | 504 | 250                                     | 200                      | 204 | 154 | 200          |      |      |                 |    |     | 55,00 |
|                         |                           |                                 |     |     |     |     |     |     |   |                          |     |     |              |      |      |                 |    |     | 71,45 |
|                         |                           |                                 |     |     |     |     |     |     |   |                          |     |     |              |      |      |                 |    |     | 78,90 |
|                         |                           |                                 |     |     |     |     |     |     |   |                          |     |     |              |      |      |                 |    |     | 85,60 |
|                         |                           |                                 |     |     |     |     |     |     |   |                          |     |     |              |      |      |                 |    |     | 89,45 |

Примечание. Размеры без скобок предпочтительны для применения. Угловое смещение осей валов ≤ 1°.

## 9.3.3. МУФТЫ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМ ПОДВИЖНЫМ ЭЛЕМЕНТОМ

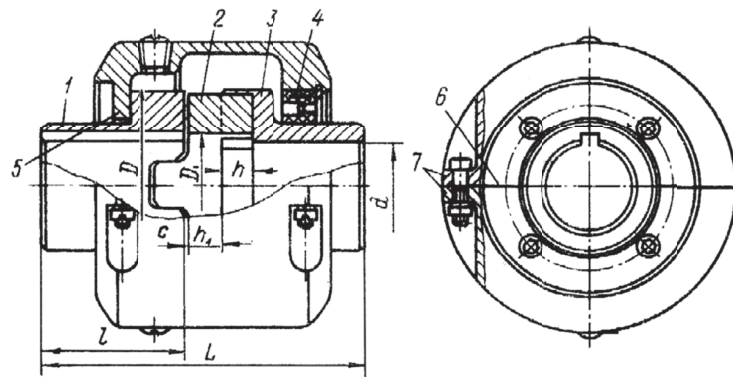


Рис. 9.7. Муфта кулачково-дисковая по ГОСТ 20720-93

На рис. 9.7 и в табл. 9.7 представлена конструкция и основные технические параметры кулачково-дисковой муфты по ГОСТ 20720-93. Муфта состоит из двух полумуфт 1 и 3 с пазами и промежуточного диска 2 с торцовыми кулачками, расположенными перпендикулярно друг к другу, которые входят в пазы полумуфт. Перпендикулярное расположение кулачков и наличие зазоров позволяет компенсировать радиальное и угловое смещение валов.

Таблица 9.7

Основные технические параметры муфт с промежуточным подвижным диском

| d, мм  | [T], Н·м | D   | D <sub>1</sub> | L   | h  | h <sub>1</sub> | c   | Масса, кг | GD <sup>2</sup> , Н·м <sup>2</sup> |
|--------|----------|-----|----------------|-----|----|----------------|-----|-----------|------------------------------------|
|        |          | мм  |                |     |    |                |     |           |                                    |
| 20-30  | 250      | 70  | 32             | 115 | 10 | 14             |     | 2,6       | 0,08                               |
| 36-40  | 500      | 110 | 60             | 160 | 16 | 19             |     | 5,4       | 0,26                               |
| 45-50  | 800      | 130 | 80             | 200 | 20 | 19             |     | 10        | 0,7                                |
| 55-60  | 1250     | 150 | 95             | 240 | 25 | 19             | 0,5 | 15,4      | 1,4                                |
| 65-70  | 2000     | 170 | 105            | 275 | 30 | 24             |     | 22,4      | 2,5                                |
| 75-80  | 3200     | 190 | 115            | 310 | 34 | 29             |     | 31,5      | 5                                  |
| 85-90  | 5000     | 210 | 130            | 355 | 38 | 33             | 1,0 | 44,7      | 9                                  |
| 95-100 | 8000     | 240 | 140            | 395 | 42 | 33             |     | 59,4      | 16                                 |

Примечание. GD<sup>2</sup> – маховой момент.

Передача вращающего момента осуществляется кулачками диска, которые при смещенных валах скользят по боковым поверхностям пазов полумуфт. Скольжение выступов в пазах сопровождается их взаимным износом, интенсивность которого возрастает с увеличением несоосности и частоты вращения. Эти муфты не рекомендуют использовать при переменном направлении вращения из-за наличия зазоров. Для уменьшения износа применяют смазку. Для удержания масла в муфте применяют резиновые уплотнения 4 и паронитовые прокладки 5 и 6. Муфту закрывают кожухом 7, половины которого стягиваются винтами.

Муфты могут передавать вращающие моменты от 16 до 16000 Н·м для валов диаметром менее 100 мм с частотой вращения  $n \leq 250$  мин<sup>-1</sup> и для валов диаметром более 100 мм с частотой вращения  $n \leq 120$  мин<sup>-1</sup> при угловом смещении осей валов до 30', радиальное смещение до 0,04d и осевое – 0,5±1,0 мм. Предусмотрены исполнения полумуфт с цилиндрическим отверстием и с коническим отверстием, с отверстием на длинные концы валов и на короткие концы валов. Полумуфты выполняются из Стали 45, 40Х, кожух – из сплавов алюминия.

При выборе муфты определяют максимальное давление  $p$  на рабочие поверхности.

$$p = \frac{8T_{\text{ном}}}{D^2 h} \leq [p],$$

где  $T_{\text{ном}}$  – номинальный вращающий момент, передаваемый муфтой, Н·м;  $D$  – наружный диаметр муфты, мм;  $h$  – рабочая высота кулачка, мм;  $[p]$  – допускаемое удельное давление на рабочих поверхностях, МПа.

Для незакаленных сталей и чугунных поверхностей  $[p] = 10 \div 15$  МПа. Для закаленных рабочих поверхностей  $[p] = 15 \div 30$  МПа.

Коэффициент полезного действия при малых радиальных смещениях валов ( $e/D \leq 0,04$ ):

$$\eta \approx \frac{(1 \dots 10) f e}{D},$$

где  $f$  – коэффициент трения, равный 0,12–0,25;  $e$  – эксцентриситет, мм.

### 9.3.4. МУФТЫ С ПЛАВАЮЩЕЙ ВСТАВКОЙ

На рис. 9.8 и в табл. 9.8 представлена конструкция и параметры муфты того же назначения с промежуточной вставкой в форме параллелепипеда. Материал вставки – текстолит (капрлон), что уменьшает массу муфты.

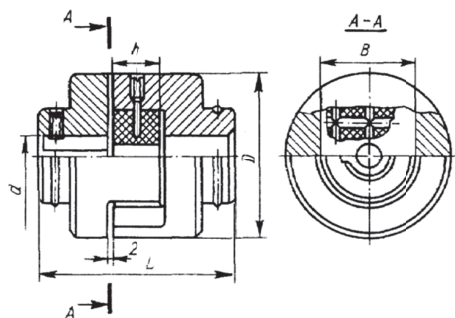


Рис. 9.8. Муфта с плавающей вставкой

Таблица 9.8

Основные технические параметры муфты с промежуточной вставкой из текстолита (капрлона), (мм)

| [ T ], Н·м | d  | D   | L   | B   | h  | $n_{max}$ , мин <sup>-1</sup> |
|------------|----|-----|-----|-----|----|-------------------------------|
| 20         | 16 | 70  | 85  | 40  | 20 | 8200                          |
| 30         | 18 | 70  | 84  | 40  | 20 | 8200                          |
| 40         | 20 | 80  | 104 | 50  | 20 | 7000                          |
| 50         | 22 | 80  | 104 | 50  | 20 | 7000                          |
| 80         | 25 | 100 | 124 | 60  | 20 | 5700                          |
| 100        | 28 | 100 | 124 | 60  | 20 | 5700                          |
| 130        | 30 | 120 | 149 | 70  | 25 | 4700                          |
| 150        | 32 | 120 | 149 | 70  | 25 | 4700                          |
| 200        | 35 | 120 | 149 | 70  | 30 | 4700                          |
| 300        | 40 | 150 | 184 | 80  | 30 | 3800                          |
| 450        | 45 | 150 | 184 | 80  | 40 | 3800                          |
| 500        | 50 | 180 | 224 | 100 | 40 | 3200                          |
| 650        | 55 | 180 | 224 | 100 | 50 | 3200                          |
| 850        | 60 | 220 | 254 | 120 | 50 | 2600                          |
| 1100       | 65 | 220 | 254 | 120 | 50 | 2600                          |
| 1400       | 70 | 250 | 274 | 140 | 50 | 2200                          |
| 1700       | 75 | 250 | 274 | 140 | 50 | 2200                          |
| 2000       | 80 | 290 | 304 | 160 | 60 | 1800                          |
| 2500       | 85 | 290 | 304 | 160 | 60 | 1800                          |
| 2900       | 90 | 330 | 344 | 160 | 60 | 1700                          |

Для подвода смазочного материала к трущимся поверхностям во вставке предусмотрены отверстия. Вследствие сил трения и отставания вставки от центрального положения муфта передает на валы значительные радиальные силы до (0,2–0,4)  $F_t$  ( $F_t$  – окружная сила на среднем диаметре). Максимальное давление  $p$  на рабочих поверхностях

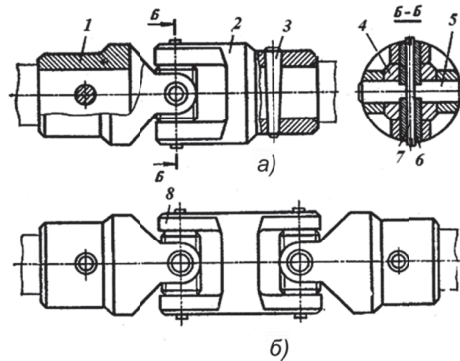
$$p = \frac{6T}{hb^2} \leq [p],$$

где  $[p]$  – допускаемое удельное давление (для текстолита  $p = 8–10$  МПа).

Муфты с промежуточной вставкой из текстолита передают вращающие моменты от 17 до 3000 Н·м.

### 9.3.5. МУФТЫ ШАРНИРНЫЕ

Муфты шарнирные (рис. 9.9) применяют для соединения валов, оси которых расположены со значительным смещением относительно друг друга, причем в процессе работы угол наклона может изменяться.



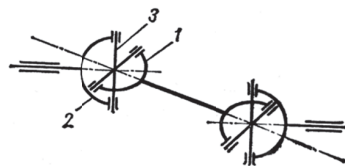
**Рис. 9.9. Конструкция муфты:**  
а – одношарнирной; б – спаренной двухшарнирной

Простейшей шарнирной муфтой является одинарная муфта (рис. 9.9, а), состоящая из двух полумуфт 1 и 2, закрепленных на концах валов при помощи конических штифтов 3. Между полумуфтами установлена крестовина 4, имеющая форму параллелепипеда с отверстиями, оси которых пересекаются под прямым углом. Полумуфты и крестовина соединены при помощи пальцев 5 и втулок 6 с цилиндрическим штифтом 7. Штифты имеют на концах глухие отверстия, которые после сборки развальцовываются, образуя шарнир трения скольжения.

Одинарные шарнирные муфты допускают перекося осей валов на угол до  $45^\circ$ .

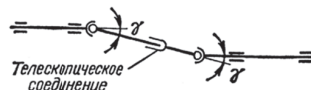
При необходимости увеличения угла наклона между соединяемыми валами свыше предельного для одинарной муфты применяют двояную шарнирную муфту (рис. 9.9, б) с промежуточной спаренной вилкой 8 или две одношарнирные, соединенные последовательно.

Недостаток этой муфты – неравномерное вращение ведомого вала.



**Рис. 9.10. Схема двухшарнирной муфты с разнесенными шарнирами**

Двояную шарнирную муфту с разнесенными шарнирами (рис. 9.10) применяют: для обеспечения вращения ведомого вала с постоянной угловой скоростью; возможности передачи вращательного движения между параллельными, но смещенными валами и при необходимости увеличения угла наклона между соединяемыми валами



**Рис. 9.11. Схема двухшарнирной муфты с телескопическим соединением шарниров**

Для обеспечения постоянной частоты вращения ведомого вала двояной шарнирной муфты необходимо, чтобы оба вала, ведущий и ведомый, были параллельны и наклонены относительно промежуточного валика под одинаковым углом и обе вилки промежуточного валика лежали в одной плоскости. Для возможности смещения во время работы валы соединяют шарнирной двояной муфтой с телескопическим промежуточным валиком (рис. 9.11), т. е. валиком изменяющейся длины.

Шарнирные муфты подразделяются на малогабаритные, передающие небольшие моменты, и крупногабаритные для передачи средних и больших моментов. Малогабаритные шарнирные муфты, одинарные (рис. 9.9, а) и двояные (рис. 9.9, б), применяют для соединения валов диаметром от 8 до 40 мм и передачи момента вращения от 11,2 до 1120 Н·м.

Шарниры этих муфт образуются вставными осями, из которых одна длинная, а вторая состоит из двух коротких втулок, стянутых заклепкой. Материал вилок и заклепки – цементируемая Сталь 20Х, а крестовины и осей – Сталь 40Х.

В трансмиссиях автомобилей, дорожных и других машинах широко используют шарнирные муфты с крестовиной, имеющей шарниры с игольчатыми подшипниками.

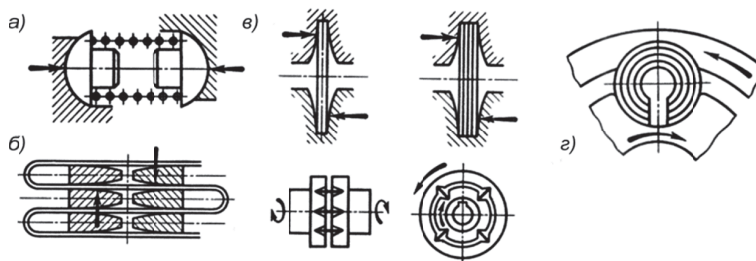
Проверочный расчет шарнирных муфт состоит из определения давления на рабочие поверхности шарниров и расчета на прочность вилок и крестовины.

## 9.4. МУФТЫ УПРУГИЕ

Упругие муфты служат для уменьшения динамических нагрузок, передаваемых соединяемыми ими валами. Кроме того, эти муфты предохраняют соединяемые валы от резонансных колебаний и позволяют несколько компенсировать неточности взаимного расположения валов. Основные характеристики упругих муфт: *жесткость* или обратная ей величина – *податливость* и *демпфирующая способность*, т. е. способность превращать в теплоту энергию деформирования упругих элементов муфты.

Различают упругие муфты: *линейные* и *нелинейные*, или *постоянной* и *переменной жесткости*. Первые имеют линейную характеристику, т. е. прямо-пропорциональную зависимость угла закручивания муфты (угла поворота одной полумуфты относительно другой) от передаваемого момента, а вторые – нелинейную характеристику. Достоинство муфт с нелинейными характеристиками – предотвращение резонанса крутильных колебаний при периодически изменяющихся нагрузках, воспринимаемых муфтами.

Конструкции упругих муфт разнообразны. По материалу упругих элементов они делятся на муфты с *неметаллическими* и *металлическими элементами*. В качестве металлических элементов используются пружины (рис. 9.11).



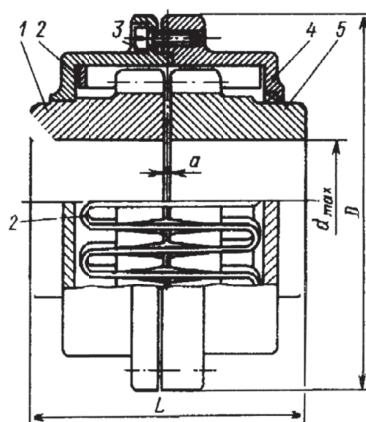
**Рис. 9.11.** Основные типы металлических стальных упругих элементов муфт:  
а – цилиндрические пружины; б – змеевидные пластинчатые пружины; в – стержни, пластины и пакеты пластин, расположенные по образующей и по радиусу; г – пакеты разрезных гильзовых пружин

Муфты с металлическими упругими элементами по сравнению с муфтами с неметаллическими упругими элементами более долговечны, имеют меньшие габариты, но дороже. Их применяют в основном для передачи больших моментов.

### 9.4.1. МУФТЫ СО ЗМЕЕВИДНОЙ ПРУЖИНОЙ

Муфты со змеевидной пружиной (рис. 9.12) наиболее распространены среди муфт с металлическими упругими элементами.

Муфта со змеевидной пружиной состоит из двух полумуфт 1 и 5 с зубьями специальной формы, во впадинах между которыми помещается змейкой (зигзагом) изогнутая пружина 2, так чтобы объединить смежные зубья на полумуфтах. Зубья и пружина закрываются снаружи кожухом 4, состоящим из двух половин, соединяемых между собой винтами 3.



**Рис. 9.12.** Муфта со змеевидной пружиной

Основные технические параметры муфты со змеевидными пружинами, мм

| $T_{\text{ном}}$<br>Н·м | $n_{\text{max}}$<br>мин <sup>-1</sup> | $D$ | $L$ | $d_{\text{max}}$ | $a$      | Масса, кг |
|-------------------------|---------------------------------------|-----|-----|------------------|----------|-----------|
| 18                      | 4800                                  | 86  | 80  | 25               | 1,0–3,0  | 1,6       |
| 26                      | 3600                                  | 120 | 90  | 30               | 1,0–3,0  | 3,5       |
| 72                      | 3600                                  | 120 | 90  | 40               | 1,0–3,0  | 3,8       |
| 215                     | 2500                                  | 155 | 110 | 50               | 1,0–5,0  | 7,5       |
| 570                     | 2300                                  | 195 | 141 | 65               | 1,0–5,0  | 15,0      |
| 1070                    | 1700                                  | 280 | 160 | 75               | 1,0–5,0  | 35,0      |
| 1800                    | 1650                                  | 280 | 182 | 85               | 1,5–6,5  | 37,0      |
| 3600                    | 1400                                  | 350 | 201 | 100              | 1,5–6,5  | 68,0      |
| 7 200                   | 1000                                  | 430 | 262 | 125              | 1,5–6,5  | 130,0     |
| 11500                   | 860                                   | 420 | 282 | 140              | 1,5–6,5  | 140,0     |
| 14 300                  | 800                                   | 476 | 302 | 150              | 2,0–8,0  | 200,0     |
| 28 600                  | 650                                   | 595 | 362 | 180              | 2,0–8,0  | 330,0     |
| 43000                   | 550                                   | 700 | 402 | 220              | 2,0–8,0  | 410,0     |
| 72 000                  | 470                                   | 775 | 502 | 200              | 2,0–10,0 | 630,0     |
| 107 000                 | 400                                   | 925 | 542 | 320              | 5,0–15,0 | 870,0     |

С увеличением нагрузки пружина, изгибаясь, вступает в контакт с зубьями по всевозрастающей длине. При этом уменьшается длина  $2h$  активной части пружины (между стрелками на рис. 9.11, б и в) и ее жесткость увеличивается. Преимущественно при отсутствии колебаний применяют литые муфты, как наиболее совершенные и более простые по форме зубьев. Материал полумуфт – Сталь 45 или стальное литье Сталь 45Л. Пружины изготавливают из пружинной Стали 65Г, 60С2 и др. Половины кожуха изготавливают из чугуна СЧ12, СЧ15. Технические параметры муфты в табл. 9.8.

Расчет на прочность муфты со змеевидной пружиной заключается в поверочном расчете ее пружины на изгиб:

$$\sigma_u = 8T_k a h / [z D_c b t^2 (t-h) \left( \ln \frac{t+h}{t-h} - \frac{2h}{t} \right)] \leq [\sigma]_u,$$

где  $\sigma_u$  – расчетное напряжение на изгиб в пружине;  $T_k$  – расчетный крутящий момент муфты;  $z$  – число зубьев полумуфты;  $D_c$  – диаметр средней окружности зубьев;  $2h$  – длина активной части пружины;  $b$  – ширина сечения пружины;  $t$  – шаг пружины;  $h$  – толщина сечения пружины;  $[\sigma]_u = 400 \dots 700$  МПа – допускаемое напряжение на изгиб в пружине.

Эти муфты нашли широкое применение в прокатных станах, паровых турбинах и других машинах тяжелого машиностроения.

#### 9.4.2. МУФТЫ ВТУЛОЧНО-ПАЛЬЦЕВЫЕ

Муфты втулочно-пальцевые (рис. 9.13) получили широкое распространение, например, в приводах для соединения вала электродвигателя с валом машины или редуктора.

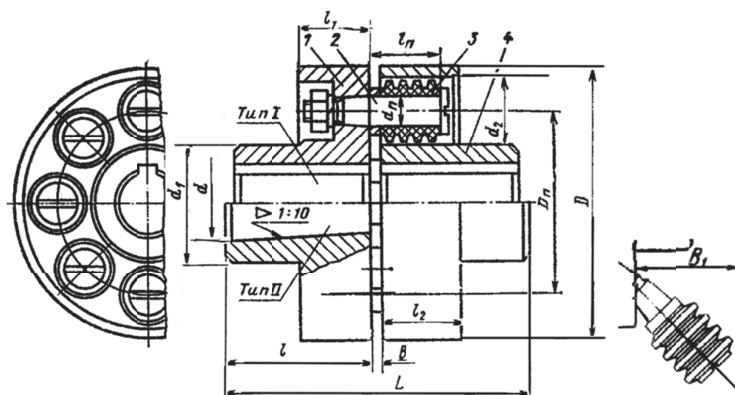


Рис. 9.13. Втулочно-пальцевая муфта

Втулочно-пальцевая муфта состоит из двух фланцевых полумуфт 1 и 4, пальцев 2 с коническим хвостовиком и резьбой. Пальцы вставляют в конические отверстия одной из полумуфт и затягивают гайками, что обеспечивает жесткое соединение этих деталей.

Момент вращения передается на вторую полумуфту от пальцев через резиновые гофрированные втулки 3.

Преимуществом этих муфт являются простота конструкции и возможность замены упругих элементов, малые габаритные размеры и масса, но они малоподатливы и распределение напряжений в упругих элементах отличается большой неравномерностью.

Муфты допускают радиальное смещение валов до 0,2...0,4 мм, осевое смещение валов до 5 мм и угловое до 1°.



| d, мм  | Допускаемое смещение валов |                  |
|--------|----------------------------|------------------|
|        | Радиальное, Δr мм          | Угловое, Δγ град |
| 10–22  | 0,2                        | 1,5              |
| 25–56  | 0,3                        | 1,0              |
| 56–180 | 0,4                        | 1,0              |

Следует заметить, что с ростом величин смещений увеличивается износ упругих элементов муфты. Поэтому для замесны пальцев с упругими элементами необходимо выдерживать размер  $B_1$  до ограничительной поверхности

Рост от смещений поперечной силы, вызывающей неравномерность износа и распределения нагрузки среди пальцев муфты, может достигать 25 % от  $2T/d_n$ , что необходимо учитывать при расчете валов и опор.

Работоспособность муфт определяется стойкостью упругих элементов, критерием которой является давление между пальцами и упругим элементом.

$$p = \frac{8T}{\pi z l_n d_n} \leq [p],$$

где  $z$  – число пальцев; допустимое давление  $[p] = 3,5$  МПа.

Полумуфты и пальцы изготавливают из Стали 40, 40Х, 45 и др.

Технические параметры втулочно-пальцевых муфт унифицированных конструкций по ГОСТ 21424-93 приведены в табл. 9.10.

Технические параметры пальцев с упругими элементами втулочно-пальцевой муфты приведены в табл. 9.11.

Таблица 9.10

Технические параметры втулочно-пальцевой муфты, мм

| $T_{ном}$ ,<br>Н·м | d   | D   | L   |     | l   |     | $D_n$ | z  | $n_{max}$ ,<br>мин <sup>-1</sup> | B  | $B_1$ | $l_1$ | $d_1$ | $d_2$ | $l_2$ |
|--------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|----|----------------------------------|----|-------|-------|-------|-------|-------|
|                    |     |     | Д   | К   | Д   | К   |       |    |                                  |    |       |       |       |       |       |
| 6,3                | 10  | 67  | 51  | 43  | 24  | 20  | 45    | 3  | 8800                             | 3  | 20    | 9     | 22    | 17    | 12    |
|                    | 11  |     |     |     |     |     |       |    |                                  |    |       |       | 25    |       |       |
| 16                 | 12  | 71  | 63  | 51  | 30  | 24  | 50    | 4  | 7600                             | 4  | 28    | 16    | 30    | 20    | 20    |
|                    | 14  |     |     |     |     |     |       |    |                                  |    |       |       | 32    |       |       |
| 31,5               | 16  | 90  | 104 | 60  | 40  | 28  | 63    | 6  | 6350                             | 4  | 42    | 18    | 36    | 28    | 20    |
|                    | 18  |     |     |     |     |     |       |    |                                  |    |       |       | 38    |       |       |
| 63                 | 20  | 100 | 124 | 76  | 50  | 36  | 71    | 6  | 5700                             | 5  | 56    | 24    | 40    | 32    | 32    |
|                    | 22  |     |     |     |     |     |       |    |                                  |    |       |       | 48    |       |       |
| 125                | 20  | 125 | 125 | 88  | 60  | 42  | 90    | 4  | 4600                             | 5  | 71    | 24    | 45    | 32    | 32    |
|                    | 22  |     |     |     |     |     |       |    |                                  |    |       |       | 50    |       |       |
| 250,0              | 25  | 140 | 165 | 89  | 80  | 60  | 105   | 6  | 3800                             | 5  | 84    | 18    | 56    | 28    | 32    |
|                    | 28  |     |     |     |     |     |       |    |                                  |    |       |       | 60    |       |       |
| 500,0              | 40  | 170 | 225 | 175 | 110 | 85  | 130   | 8  | 3600                             | 6  | 91    | 24    | 71    | 48    | 48    |
|                    | 45  |     |     |     |     |     |       |    |                                  |    |       |       | 78    |       |       |
| 1000,0             | 50  | 210 | 226 | 176 | 140 | 105 | 160   | 10 | 2860                             | 6  | 107   | 24    | 90    | 60    | 60    |
|                    | 56  |     |     |     |     |     |       |    |                                  |    |       |       | 100   |       |       |
| 2000,0             | 63  | 260 | 286 | 216 | 170 | 130 | 200   | 10 | 2300                             | 8  | 114   | 30    | 110   | 75    | 75    |
|                    | 71  |     |     |     |     |     |       |    |                                  |    |       |       | 125   |       |       |
| 4000,0             | 80  | 320 | 248 | 268 | 210 | 170 | 240   | 10 | 1800                             | 10 | 121   | 38    | 140   | 85    | 85    |
|                    | 90  |     |     |     |     |     |       |    |                                  |    |       |       | 150   |       |       |
| 8000,0             | 100 | 420 | 350 | 350 | 210 | 170 | 320   | 10 | 1450                             | 12 | 128   | 48    | 140   | 110   | 110   |
|                    | 110 |     |     |     |     |     |       |    |                                  |    |       |       | 180   |       |       |
|                    | 100 |     | 432 | 352 |     |     |       |    |                                  |    |       |       | 180   |       |       |
|                    | 110 |     |     |     |     |     |       |    |                                  |    |       |       | 200   |       |       |

|         |            |     |            |            |            |            |     |    |      |    |     |    |            |    |            |  |  |
|---------|------------|-----|------------|------------|------------|------------|-----|----|------|----|-----|----|------------|----|------------|--|--|
|         | 125<br>140 |     | 512        | 412        | 250        | 200        |     |    |      |    |     |    |            |    | 220<br>240 |  |  |
| 16000,0 | 160<br>180 | 530 | 434<br>514 | 354<br>414 | 210<br>250 | 170<br>200 | 400 | 10 | 1150 | 14 | 130 | 56 | 220<br>250 | 90 | 95         |  |  |
|         | 160<br>180 |     | 614<br>494 | 300<br>240 | 280<br>300 |            |     |    |      |    |     |    |            |    |            |  |  |

Примечание. d – номинальный диаметр посадочного отверстия на вал; D – длинные концы валов; К – короткие концы валов; z – число болтов.

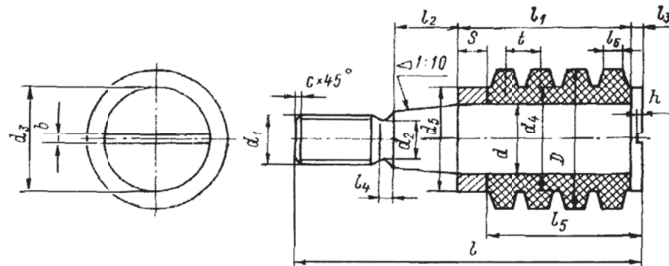


Рис. 9.14. Палец с упругим элементом втулочно-пальцевой муфты

Таблица 9.11

Технические параметры пальцев с упругими элементами втулочно-пальцевой муфты. (мм)

| $T_{ном},$<br>Н·м       | d  | d <sub>1</sub> | d <sub>2</sub> | d <sub>3</sub> | l   | l <sub>1</sub> | l <sub>2</sub> | l <sub>3</sub> | l <sub>4</sub> | b   | h   | l <sub>5</sub> | l <sub>6</sub> | t   | s   | D  | d <sub>4</sub> | d <sub>5</sub> |
|-------------------------|----|----------------|----------------|----------------|-----|----------------|----------------|----------------|----------------|-----|-----|----------------|----------------|-----|-----|----|----------------|----------------|
| 6,3<br>16,0             | 8  | M6             | 4,5            | 12             | 21  | 12             | 6              | 1,5            | 3              | 1,5 | 1,0 | 10             | 2,5            | 5   | 3   | 16 | 12             | 12             |
| 31,5<br>63,0            | 10 | M8             | 6,8            | 15             | 45  | 19             | 9              | 2,0            | 4              | 2,0 | 1,5 | 15             | 4              |     | 19  | 14 | 15             |                |
| 125,0<br>250,0<br>500,0 | 14 | M10            | 7,8            | 20             | 66  | 33             | 12             |                |                |     |     | 3,0            | 5              | 3,0 | 2,0 | 28 | 3,5            | 7              |
| 1 000,0                 | 18 | M12            | 9,5            | 25             | 85  | 42             | 17             | 4,0            | 6              | 5,0 | 3,0 |                |                |     |     | 36 | 4,5            | 9              |
| 2 000,0                 | 24 | M16            | 13,0           | 32             | 106 | 52             | 24             |                |                |     |     | 5,0            | 8              | 8,0 | 4,0 | 44 | 6,0            | 11             |
| 4 000,0                 | 30 | M24            | 19,5           | 38             | 140 | 66             | 30             | 8              | 8              | 8,0 | 4,0 |                |                |     |     | 56 | 7,5            | 14             |
| 8 000,0                 | 38 | M30            | 25,0           | 48             | 170 | 84             | 36             |                |                |     |     | 8              | 8              | 8,0 | 4,0 | 71 | 9,5            | 18             |
| 16 000,0                | 45 | M36            | 30,0           | 56             | 210 | 103            | 45             | 5,0            | 8              | 8,0 | 4,0 |                |                |     |     | 88 | 11,5           | 22             |

Расчет муфт состоит в проверке упругих элементов на смятие

$$\sigma_{см} = \frac{2T}{zD_n l d_n} \leq [\sigma]_{см}$$

Выбранные размеры муфты проверяют на прочность пальцев на изгиб в опасном сечении (в месте закрепления пальца). Рассматривается палец как балка, заземленная одним концом:

$$\sigma_u = \frac{T l_n}{0,1 d^3 z D_n} \leq [\sigma]_u$$

где T – расчетный крутящий момент муфты; l<sub>n</sub> и d<sub>n</sub> – длина и диаметр пальца; D<sub>n</sub> – диаметр окружности расположения центров пальцев; d<sub>n</sub> – диаметр пальцев под резиновыми кольцами или втулкой; z – число пальцев; σ<sub>см</sub> – расчетное напряжение смятия между пальцами и втулкой; [σ<sub>см</sub>] = 2...4 МПа – допустимое напряжение смятия для резины; σ<sub>u</sub> – расчетное напряжение на изгиб для пальцев; [σ<sub>u</sub>] = 60...80 МПа – допустимое напряжение на изгиб для пальцев.

**Пример**

Для соединения электродвигателя с валом редуктора используется втулочно-пальцевая муфта. Передаваемая мощность P = 7,5 кВт, n = 1440 мин<sup>-1</sup>, диаметр вала электродвигателя 32 мм.

Необходимо проверить прочность резиновых втулок муфты.

**Вычисление**

Определяем номинальный момент, передаваемый муфтой:

$$T = 9,55P/n = 9,55 \cdot 7,5 \cdot 10^3 / 1440 = 49,8 \text{ Н·м}$$

Определяем расчетный момент, принимая коэффициент режима работы муфты k=2,0:

$$T_{расч} \geq k T = 0,2 \cdot 49,8 = 9,96 \leq [T].$$

По табл. 9.10 выбираем муфту, диаметр вала электродвигателя 32 мм, тогда диаметр вала муфты  $d = 30 \dots 38$  мм, допускаемый расчетный момент  $[T] = 240$  Н·м

Размеры выбранной муфты следующие:  $D_1 = 95$  мм,  $l_g = 28$  мм,  $D_n = 100$  мм,  $d_n = 14$  мм, число пальцев  $z = 6$ .

Проверяем резиновые втулки на смятие поверхностей.

$$\sigma_{см} = \frac{2T}{zD_n d_n} \leq [\sigma]_{см} = \frac{2 \cdot 99,6}{6 \cdot 100 \cdot 28 \cdot 14} = 0,8 \cdot 10^6 \text{ Па} \leq [\sigma_{см}] = 2,0 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение смятия для резины –  $[\sigma_{см}] = 2 \dots 4$  МПа.

### 9.4.3. МУФТЫ УПРУГИЕ С РЕЗИНОВОЙ ЗВЕЗДОЧКОЙ

Муфта упругая с резиновой звездочкой (рис. 9.15) применяется для соединения быстроходных валов и по принципу действия аналогична втулочно-пальцевой муфте.

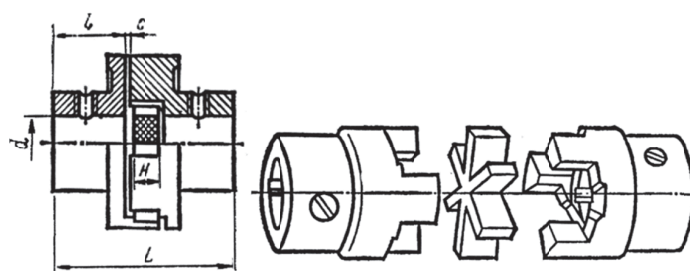


Рис. 9.15. Упругая муфта с резиновой звездочкой

Муфты с резиновой звездочкой обладают большой радиальной, угловой и осевой жесткостью, поэтому их применение возможно при установке соединяемых изделий на плитах (рамах) большой жесткости.

Зубья звездочки проверяют на смятие. Принимают допускаемое напряжение на смятие зубьев звездочки  $[\sigma]_{см} = 4$  МПа при  $n = 1000$  мин<sup>-1</sup>, а для других  $n$ :

$$[\sigma]_{см} = 4 \cdot \sqrt[3]{\frac{1000}{n}}$$

Муфты допускают радиальное смещение валов до 0,2...0,4 мм и угловое до 1°30'. Осевое смещение валов применяется при монтаже. Следует заметить, что с ростом величин смещений увеличивается износ упругих элементов муфты.

Материал полумуфт – Сталь 35, Сталь 45 и т.п.

Материал звездочки – резина с физико-механическими свойствами, приведенными в табл. 9.12.

Таблица 9.12

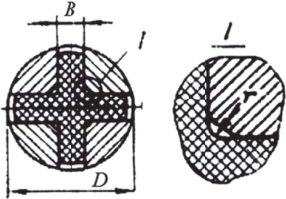
| Физико-механические свойства резины                   |                       |
|---|-----------------------|
| Предел прочности при разрыве, Н/мм <sup>2</sup>       | $\geq 1,0 \cdot 10^7$ |
| Относительное удлинение при разрыве по ГОСТ 270-75, % | $\geq 300$            |
| Относительное остаточное удлинение по ГОСТ 270-75, %  | $\leq 30$             |
| Твердость по ГОСТ 263-75, усл. ед.                    | 50–65                 |

Основные технические параметры звездочек приведены в табл. 9.13 и 9.14.

Муфты с резиновой звездочкой выпускают для диаметров валов 5÷48 мм в диапазоне моментов вращения 2,5÷400 Н·м.

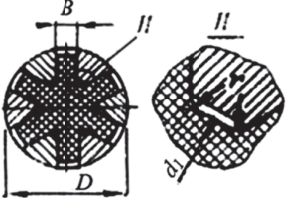
Основные технические параметры муфты со звездочкой приведены в табл. 9.15.

Основные технические параметры звездочек для муфт с  $T_{ном} = 2,5 \div 6,3$  Н·м



| $T_{ном}, \text{Н}\cdot\text{м}$ | $D$ | $B$  | $r$  | Толщина Н | Масса, кг |
|----------------------------------|-----|------|------|-----------|-----------|
| 2,5                              | 30  | 8,5  | 1,25 | 10        | 0,009     |
| 6,3                              | 42  | 10,5 | 1,6  | 10        | 0,012     |

Основные технические параметры звездочек для муфт с  $T_{ном} = 16 \div 400$  Н·м



| $T_{ном}, \text{Н}\cdot\text{м}$ | $D$ | $d_1$ | $B$  | Толщина Н | $r$ | Масса, кг |
|----------------------------------|-----|-------|------|-----------|-----|-----------|
| 16,0                             | 50  | 26    | 10,5 | 15        | 1,6 | 0,032     |
| 25                               | 60  | 30    | 12,5 | 15        | 1,6 | 0,040     |
| 31,5                             | 67  | 30    | 12,5 | 15        | 1,6 | 0,430     |
| 63,0                             | 80  | 36    | 14,5 | 22        | 2,0 | 0,090     |
| 125,0                            | 100 | 45    | 16,5 | 22        | 2,0 | 0,135     |
| 250,0                            | 130 | 56    | 18,5 | 25        | 3,0 | 0,264     |
| 400,0                            | 160 | 67    | 20,5 | 30        | 3,0 | 0,485     |

Основные технические параметры муфты со звездочкой

| $T_{ном}$ ,<br>Н·м | $d$                                  | $D$ | $L$        |       |      |    | $l$ |       | $c$  | $n_{max}$ ,<br>мин <sup>-1</sup>             | Смещение осей валов, не более |                 | Маховой момент $GD^2$ , Н·м <sup>2</sup> |       | Масса, кг, не более                          |  |
|--------------------|--------------------------------------|-----|------------|-------|------|----|-----|-------|------|--|-------------------------------|-----------------|--|-------|--|--|
|                    |                                      |     | Исполнение |       |      |    | д   | к     |      |  | $\Delta r$                    | $\Delta \gamma$ | Исполнение                               |       |  |  |
|                    |                                      |     | д          | к     | д    | к  |     |       |      |  |                               |                 | д  | к     | д  | к  |
| 2,5                | 6<br>7                               | 32  | 45,5       | –     | 16   | –  | 1,5 | 92    | 0,1  | 1,5°   | 0,5                           | –               | 0,17<br>0,15                             | –     |  |  |
| 6,3                | 10<br>11<br>12<br>14                 | 45  | 59,5       | 53,5  | 23   | 20 |     |       |      |  | 30                            | 25              | 83                                       | 1,2   | 0,10   | 0,25<br>0,23<br>0,27<br>0,31                         |
|                    | 12<br>14<br>16<br>18                 |     | 53         | 81,0  | 71,0 | 40 | 28  | 63    | 0,2  | 7,6  |                               |                 |  |       |  | 0,54   |
| 16,0               | 14<br>16<br>18 (19)<br>20            | 63  |            | 81,0  | 71,0 | 30 | 25  |       |      |  | 58                            | 0,2             | 9,6                                      | 0,76  | 0,72<br>0,80<br>0,78<br>0,74<br>0,88         |  |
|                    | 101,0                                |     | 77,0       | 40    | 28   | 50 | 0,3 | 30,0  | 2,8  | 1,00<br>0,98<br>0,94<br>1,14<br>1,10         |                               |                 |  |       | 0,72<br>0,68<br>0,70<br>0,86<br>0,82         |  |
| 25,0               | 14<br>16<br>18 (19)<br>20            | 63  | 121,0      | 93,0  | 50   |    |     |       |      | 36   | 37                            | 0,3             | 90,0                                     | 8,4   | 1,81<br>1,75<br>1,67<br>2,00<br>1,90         | 1,67<br>1,65<br>1,57<br>1,61<br>1,51                 |
|                    | 101,0                                |     | 77,0       | 40    | 28   | 33 | 0,4 | 140,4 | 12,8 | 3,32<br>3,18<br>3,34<br>3,32<br>3,39<br>3,72 |                               |                 |  |       | 3,06<br>2,84<br>3,04<br>3,16<br>3,23<br>3,30 |  |
| 31,5               | 16<br>18 (19)<br>20<br>22            | 71  | 128,0      | 100,0 | 50   |    |     |       |      | 36   | 30                            | 0,4             | 1,0°                                     | 380,6 | 37,8   | 7,05<br>7,10<br>7,06<br>6,90<br>7,60<br>8,08<br>8,49 |
|                    | 128,0                                |     | 100,0      | 50    | 36   | 25 | 0,4 | 380,6 | 37,8 | 11,34<br>12,04<br>12,90<br>12,12<br>13,10    |                               |                 |  |       |  | 10,82<br>11,46<br>11,78<br>11,00<br>11,98            |
| 63,0               | 20<br>22 (24)<br>25<br>28            | 85  | 148,0      | 112,0 | 60   |    |     |       |      | 42   | 30                            | 0,4             | 1,0°                                     | 380,6 | 37,8   | 11,34<br>12,04<br>12,90<br>12,12<br>13,10            |
|                    | 188,0                                |     | 144,0      | 80    | 58   | 25 | 0,4 | 380,6 | 37,8 | 11,34<br>12,04<br>12,90<br>12,12<br>13,10    |                               |                 |  |       |  | 10,82<br>11,46<br>11,78<br>11,00<br>11,98            |
| 125,0              | 25<br>28<br>30<br>32<br>35<br>36     | 105 | 191,0      | 147,0 | 110  |    |     |       |      | 82   | 25                            | 0,4             | 1,0°                                     | 380,6 | 37,8   | 11,34<br>12,04<br>12,90<br>12,12<br>13,10            |
|                    | 191,0                                |     | 147,0      | 110   | 82   | 25 | 0,4 | 380,6 | 37,8 | 11,34<br>12,04<br>12,90<br>12,12<br>13,10    |                               |                 |  |       |  | 10,82<br>11,46<br>11,78<br>11,00<br>11,98            |
| 250,0              | 32<br>35<br>36 (38)<br>40 (42)<br>45 | 135 | 196,0      | 152,0 | 80   |    |     |       |      | 58   | 25                            | 0,4             | 1,0°                                     | 380,6 | 37,8   | 11,34<br>12,04<br>12,90<br>12,12<br>13,10            |
|                    | 196,0                                |     | 152,0      | 80    | 58   | 25 | 0,4 | 380,6 | 37,8 | 11,34<br>12,04<br>12,90<br>12,12<br>13,10    |                               |                 |  |       |  | 10,82<br>11,46<br>11,78<br>11,00<br>11,98            |
| 400,0              | (38)<br>40 (42)<br>45 (48)           | 166 | 256,0      | 200,0 | 110  |    |     |       |      | 82   | 25                            | 0,4             | 1,0°                                     | 380,6 | 37,8   | 11,34<br>12,04<br>12,90<br>12,12<br>13,10            |
|                    | 256,0                                |     | 200,0      | 110   | 82   | 25 | 0,4 | 380,6 | 37,8 | 11,34<br>12,04<br>12,90<br>12,12<br>13,10    |                               |                 |  |       |  | 10,82<br>11,46<br>11,78<br>11,00<br>11,98            |

Примечания: 1. Размеры без скобок являются предпочтительными для применения. 2. Д – длинные концы валов; К – короткие концы валов. Допускаются другие соединения муфт с валами. 3. При применении звездочек, изготовленных из марок резин с пределом прочности при разрыве  $[\sigma_r]$  выше значения  $1 \cdot 10^7$  Н/м<sup>2</sup>, допускаемая частота вращения муфт увеличивается в  $\sqrt{[\sigma_r] / 1,0 \cdot 10^7}$  раз.

#### 9.4.4. МУФТЫ С ТОРООБРАЗНОЙ УПРУГОЙ ОБОЛОЧКОЙ

Сравнительно простая по конструкции, получила широкое распространение (рис. 9.16). Муфта с торообразной упругой оболочкой, резиновый упругий элемент которой напоминает автомобильную шину, работает на кручение. Это придает муфте большую энергоемкость, высокие упругие и компенсирующие свойства (при  $n \leq 1500$  мин<sup>-1</sup>: смещение угловое –  $\Delta \gamma \approx 2 \dots 6^\circ$ , радиальное –  $\Delta r \approx 2 \dots 6$  мм, осевое –  $\Delta z = 3 \dots 6$  мм; угол закручивания при номинальном вращающем моменте,  $\Delta \varphi \approx 2 \dots 6^\circ$ ). Муфта может быть с выпуклый, вогнутой, торообразной упругой оболочкой ( $\delta = 2 \dots 6$  мм). Все это позволяет применять муфты в конструкциях, где трудно обеспечить соосность валов, при переменных нагрузках, а также значительных кратковременных перегрузках.

Недостатком муфты является большой диаметральный размер и появление значительных осевых нагрузок на опоры, вызываемых центробежными силами, действующими на упругий элемент.

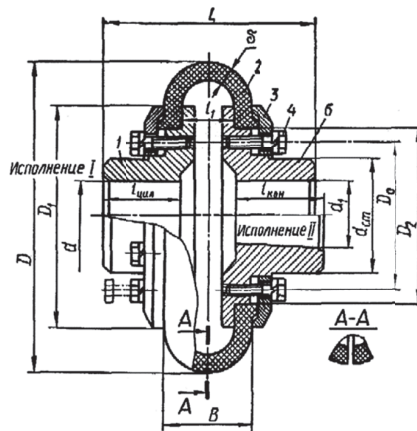


Рис. 9.16. Муфта с торообразной упругой оболочкой

Муфта состоит из двух полумуфт I и б, к фланцам которых с помощью колец 3 и винтов 4 крепится упругий элемент 2. Как недостаток можно отметить сравнительно большие габариты.

Наружный диаметр муфты  $D$  определяют из расчета оболочки на прочность.

$$D = (4 \div 5)d.$$

Ориентировочные соотношения основных элементов муфты:  $B = 0,25D$ ; толщина оболочки  $\delta = 0,05D = (0,2 \div 0,3)d$ ; диаметр ступицы  $d_1 = (1,8 \div 2)d$ ;  $D_2 = (0,5 \dots 0,6)D$ ,  $D_1 = (3 \div 4)d = 0,75D$ ; наружный радиус оболочки в поперечном сечении  $R = 0,125D$ . Число болтов  $z$  ориентировочно принимают в зависимости от диаметра  $D$  по табл. 9.16.

Таблица 9.16

| Число болтов $z$ в зависимости от $D$ |        |                  |
|---------------------------------------|--------|------------------|
| $D$ , мм                              | до 160 | свыше 160 до 320 |
| $z$                                   | 4      | 6                |

Основные технические параметры муфты приведены в табл. 9.17.

Вращающий момент с полумуфт передается на оболочку силами трения, создаваемыми при затяжке болтов 3. При передаче момента в оболочке возникают касательные напряжения крутильного сдвига. Наибольшего значения они достигают в кольцевом сечении с диаметром  $D_1$ :

$$\tau = \frac{2T}{\pi D_1^2 \delta} \leq [\tau]$$

Используя эту формулу и принятые выше соотношения размеров муфты, получаем формулу для определения наружного диаметра оболочки:

$$D \geq 2,83 \cdot \sqrt[3]{\frac{T}{[\tau]}}$$

где  $D$  – диаметр оболочки, см;  $T$  – расчетный вращающий момент, Н·м.

При выборе муфты или оболочки по справочнику или каталогу выбирают размер равный или более  $D$ .

При  $D \leq 300$  мм оболочки выполняют резиновыми без армирования нитями корда. Для них допускаемое напряжение берется в пределах  $[\tau] = 0,45 \dots 0,5$  МПа.

При  $D > 300$  мм оболочки армируют кордом и для них  $[\tau] = 0,7 \dots 0,75$  МПа.

Выбрав число болтов  $z$  в зависимости от  $D$ , определяют необходимую контролирующую силу затяжки:

$$P_{зам} = \frac{2K_c T}{zf(D_1 + D)},$$

где  $K_c$  – коэффициент запаса сцепления,  $K_c \geq 1,5$ . По силе  $P_{зам}$ ,  $H$ , можно проверить болты на прочность.

Муфту с торообразной упругой оболочкой применяют для валов диаметром 14...240 мм и вращающих моментов 20...40000 Н·м.



Основные технические параметры муфт с торообразной оболочкой выпуклого профиля

| T <sub>ном</sub> ,<br>Н·м | d  | d <sub>l</sub> | D    | L                 |                   | l                 |                   | T <sub>max</sub> ,<br>Н·м | n <sub>max</sub> ,<br>с <sup>-1</sup> | Смещение |      |                | Маховой<br>момент | Масса,<br>кг |      |        |            |
|---------------------------|--|----------------|------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------------------|---------------------------------------|----------|------|----------------|-------------------|--------------|------|--------|------------|
|                           |  |                |      | Д                 | К                 | Д                 | К                 |                           |                                       | Δγ       | Δz   | Δr             |                   |              |      |        |            |
| 20                        | 14<br>16, 18, (19)                       |                | 100  | 105<br>110        | 95                | 28<br>30          | 20                | 63                        | 50                                    | 5° 30'   | 1,0  | 1,0            | 0,02              | 1,4          |      |        |            |
| 40                        | 18, (19)<br>20, 22, (24) 25              |                | 125  | 115<br>130<br>140 | 100               | 38<br>44          | 26<br>28          | 125                       |                                       |          |      |                | 2,0               | 1,6          | 0,14 | 0,04   | 2,5        |
| 80                        | 22, (24)<br>25<br>28<br>30               |                | 160  | 140<br>150<br>185 | 140<br>170        | 38<br>44<br>60    | 26<br>28<br>40    | 250                       |                                       |          |      |                |                   |              |      | 0,25   | 6,1<br>6,9 |
| 125                       | 25, 28<br>30, 32, 35, 36                 |                | 180  | 155<br>190        | 145<br>175        | 44<br>60          | 28<br>40          | 400                       |                                       |          |      |                | 41                | 2,5          | 2,0  |        |            |
| 200                       | 30, 32, 35, 36, (38)<br>40               |                | 200  | 200<br>250        | 185<br>235        | 84<br>60          | 60                | 630                       |                                       |          |      |                |                   |              |      | 33     | 3,0        |
| 250                       | 32, 35, 36, (38)<br>40, (42) 45          |                | 220  | 205<br>255        | 185<br>240        | 60<br>84          | 40<br>60          | 800                       |                                       |          |      |                | 3,0               | 2,5          | 1,2  |        |            |
| 315                       | 35, 36, (38)<br>40, (42) 45, (48)        |                | 250  | 215               | 195               | 60                | 40                |                           |                                       |          |      |                |                   |              |      | 26     | 4,0        |
| 500                       | 40, (42) 45, (48),<br>50, (53) 55, (56)  |                | 280  | 270               | 250               | 84                | 60                | 1600                      |                                       |          |      |                | 4,5               | 4,0          | 10,2 |        |            |
| 800                       | (48), 50 (53), 55,<br>(56)<br>60, 63     |                | 320  | 280<br>330        | 270               | 108<br>75         | 75                | 2500                      |                                       |          |      |                |                   |              |      | 3° 30' | 6,7        |
| 1250                      | 55, (56)<br>60, 63, (65) 70, 71,<br>(75) |                | 360  | 280<br>330        | 230<br>260        | 84<br>108         | 60<br>75          | 3150                      |                                       |          |      |                | 13                | 7,5          | 330  |        |            |
| 2000                      | 63, (65) 70, 71,<br>(75)<br>80, (85) 90  |                | 400  | 350<br>400        | 270<br>320        | 108<br>132        | 75<br>96          | 5000                      |                                       |          |      |                |                   |              |      | 2° 30' | 9          |
| 16 000                    | 160 (170), 180                           |                | 720  | 670               | 550               | 244               | 188               | 31500                     |                                       |          |      |                | 12                | 10           | 880  |        |            |
| 20 000                    | 140, (150)<br>160<br>(170), 180<br>190   |                | 800  | 600<br>680<br>760 | 500<br>560<br>620 | 204<br>244<br>284 | 158<br>188<br>218 | 40000                     | 11                                    | 11       | 1200 | 815,0<br>921,0 |                   |              |      |        |            |
| 25 000                    | 160, (170) 130<br>(190), 200             |                | 900  | 690<br>770        | 570<br>630        | 244<br>284        | 188<br>238        | 50000                     |                                       |          |      |                |                   |              |      |        |            |
| 31500                     | 160, (170)<br>(190), 200 (210),<br>220   |                | 1000 | 710<br>790        | 580<br>640        | 244<br>284        | 188<br>218        | 63000                     |                                       |          |      |                |                   |              |      |        |            |
| 40 000                    | 180 190, 200, 210,<br>220<br>240         |                | 1120 | 720<br>800<br>900 | 590<br>650<br>–   | 244<br>234<br>334 | 188<br>218<br>–   | 80000                     |                                       |          |      |                |                   |              |      |        |            |

Примечания: 1. Размеры без скобок предпочтительны для применения.

2. Допускается предельное отклонение размера d по Н8.

3. Маховой момент, I = GD<sup>2</sup>, Н·м<sup>2</sup>.

## 9.5. МУФТЫ СЦЕПНЫЕ

В приводных устройствах, часто включаемых и выключаемых, с переменным режимом работы, например в трансмиссиях тракторов и автомобилей, в передачах к металлообрабатывающим станкам, конвейерам, транспортерам и другим машинам, устанавливают управляемые сцепные муфты. Их конструктивное оформление отличается большим разнообразием, но применяют главным образом муфты сцепные кулачковые и фрикционные.

### 9.5.1. КУЛАЧКОВЫЕ МУФТЫ

Наиболее простая конструкция муфты с прямоугольным профилем кулачков показана на рис. 9.17, а с соотношением размеров: наружный диаметр  $D \approx 2,5 d$ ; длина ступицы неподвижной полумуфты  $l_1 \approx 1,5 d$ , то же подвижной  $l_2 \approx (2 \dots 2,5)d$ , осевой зазор  $e \approx 5 \dots 10$  мм, число кулачков  $z = 3 \dots 5$ , высота кулачка  $h \approx (0,3 \dots 0,5)d$ . Полумуфты должны строго центрироваться на валах, для точности расположения которых служит втулка в одной из полумуфт. Подвижную полумуфту располагают на ведомом валу.

Эти муфты применяют для передачи значительных моментов, включение их возможно лишь при весьма малой относительной угловой скорости (порядка 1 рад/с) или же лучше при полной остановке механизма.

Проверку кулачков на смятие производят по формуле

$$\sigma_{см} = 2T_p / D_c z S,$$

где  $T_p = kT_{ном}$ ;  $D_c$  – диаметр окружности, проходящей через середину кулачков;  $S$  – поверхность соприкосновения кулачков (одной пары); допускаемое напряжение для кулачков, имеющих закаленную рабочую поверхность до твердости 50...60 HRC, при включении во время остановки  $[\sigma]_{см} \leq 100 \text{ Н/мм}^2$  и  $[\sigma]_{см} = 35...70$  – для муфт включаемых на ходу.

Муфты с треугольными и трапецидальными кулачками допускают включение на ходу при разности окружных скоростей на среднем диаметре до 0,8 м/с (рис. 9.17, б):

– треугольный профиль с углом  $\alpha = 30...40^\circ$  пригоден для легких передач с небольшим значением  $T_{ном}$ , так как при значительных нагрузках кулачки сминаются и изнашиваются за сравнительно короткий срок; число кулачков  $z \leq 60$ , что обеспечивает плавность включения;

– трапецидальный профиль считают оптимальным для средненагруженных муфт; угол  $\alpha \approx 3...10^\circ$ , число кулачков  $z = 5...12$ , высота кулачка  $h \approx 0,1D_c$ ; ширина кулачка в радиальном направлении  $b \sim (1,5...2)h$ .

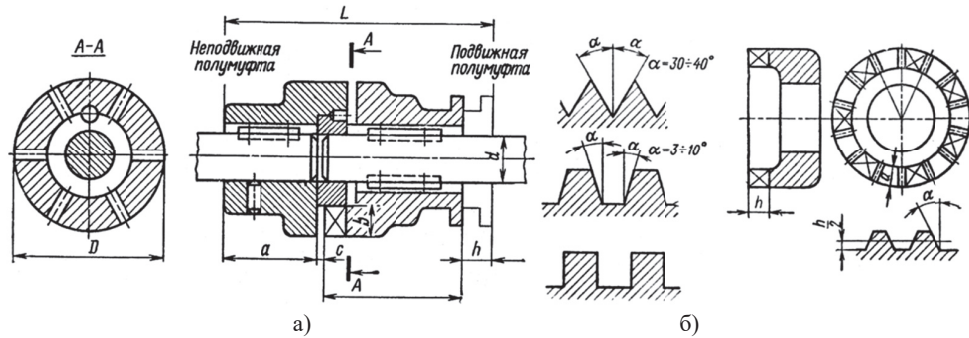


Рис. 9.17. Муфта сцепная (а) и применяемые формы кулачков (б)

На рис. 9.17, б представлены профили кулачков:

Твердость рабочих поверхностей 50...60 HRC. Осевое усилие для включения муфты, отнесенное к оси вала,

$$F_1 = \frac{2T_p}{D_c} \left[ f \frac{D_c}{d} + tg(\alpha + \rho) \right],$$

где  $D_c$  – диаметр окружности, проходящей через середину кулачков; коэффициент трения  $f \approx 0,08...0,15$ ; угол трения  $\rho = 5...8^\circ$ ;  $d$  – диаметр вала, по которому скользит подвижная полу муфта.

Усилие для поддержания муфты во включенном состоянии

$$F_0 = \frac{2T_p}{D_c} tg \alpha$$

Усилие для выключения муфты

$$F_2 = \frac{2T_p}{D_c} \left[ f \frac{D_c}{d} - tg(\alpha - \rho) \right]$$

Кулачки проверяют на смятие по формуле

$$\sigma_{см} = 2T_p / D_c z S$$

Размеры кулачковых муфт с прямоугольной формой кулачков в табл. 9.18.

Таблица 9.18

Основные технические параметры муфт с прямоугольной формой кулачков

| d     | D   | L   | a   | b   | c  | h  | Масса, кг |
|-------|-----|-----|-----|-----|----|----|-----------|
| 35-40 | 100 | 200 | 70  | 95  | 5  | 30 | 8         |
| 56-60 | 150 | 275 | 90  | 139 | 6  | 40 | 20        |
| 80    | 200 | 350 | 110 | 182 | 8  | 50 | 45        |
| 100   | 250 | 435 | 140 | 225 | 10 | 60 | 89        |
| 125   | 300 | 500 | 160 | 260 | 10 | 70 | 142       |

### 9.5.2. МУФТЫ ЗУБЧАТЫЕ СЦЕПНЫЕ

Муфта состоит из двух полумуфт (рис. 9.18), зубчатые венцы шестерен которых образуют внутреннее эвольвентное зубчатое зацепление с исходным контуром по ГОСТ 13755 – 81. Параметры зацепления соответствуют степени точности 8А по ГОСТ 1643 – 81. Венцы шестерен могут быть введены в зацепление или выведены из зацепления с помощью механизма муфты, который состоит из вилки с сухарями, располагающимися в пазах полумуфты. Для уменьшения трения сухари изготовляют из бронзы (БрАЖ-9-4).

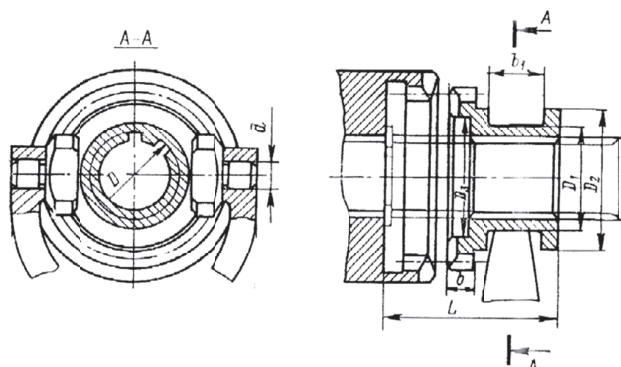


Рис. 9.18. Зубчатая сцепная муфта

Для облегчения включения муфты торцы зубьев закругляют. Основные технические параметры зубчатых сцепных муфт приведены в табл. 9.19.

Для повышения несущей способности муфты зубчатые венцы изготовляют из Стали 40Х с закалкой в.т.ч. до 48-54 HRC или из Стали 20Х с цементацией и закалкой до твердости 56 – 62 HRC.

Для уменьшения ударов и шума (в автомобилях) при введении венцов муфты в зацепление соединяемые валы снабжают синхронизаторами скорости вращения.

Таблица 9.19

Основные технические параметры зубчатой сцепной муфты ( $m = 2,0$ )

| D  | T, Н·м | L  | Число зубьев z | D <sub>1</sub> | D <sub>2</sub> | D <sub>3</sub> | b  | b <sub>1</sub> | d  |
|----|--------|----|----------------|----------------|----------------|----------------|----|----------------|----|
| 25 | 400    | 51 | 26             | 32             | 45             | 38             | 8  | 18             | 9  |
| 28 | 500    | 55 | 28             | 35             | 50             | 42             | 9  | 18             |    |
| 32 | 630    | 59 | 30             | 40             | 54             | 45             | 9  | 18             |    |
| 34 | 800    | 62 | 32             | 42             | 58             | 50             | 10 | 18             |    |
| 38 | 1250   | 68 | 34             | 48             | 62             | 54             | 12 | 18             |    |
| 42 | 2000   | 78 | 38             | 52             | 70             | 62             | 15 | 22             | 10 |
| 48 | 3150   | 87 | 42             | 60             | 78             | 68             | 18 | 22             |    |
| 54 | 4000   | 91 | 46             | 68             | 86             | 76             | 18 | 22             |    |
| 60 | 5000   | 98 | 50             | 75             | 94             | 82             | 20 | 27             |    |

### 9.6. ФРИКЦИОННЫЕ (АСИНХРОННЫЕ) МУФТЫ

Фрикционные (асинхронные) муфты обеспечивают плавное безударное включение, так как в момент включения нагрузка возрастает с ростом тормозящего эффекта между дисками. Муфты передают вращающий момент за счет сил трения, создаваемых на трущихся поверхностях сцепляющихся звеньев муфты. По форме рабочих поверхностей муфты могут быть дисковые, конусные и цилиндрические. Давление на трущиеся детали создается с помощью механизмов включения различного вида, которыми можно управлять режимом работы муфты. Наибольшее распространение получили пружинно-рычажные механизмы; для дистанционного управления муфтой удобны гидравлические, пневматические или электромагнитные устройства. Муфты работают как со смазкой, так и без нее.

Основные требования, которые предъявляются к дисковым фрикционным муфтам: соответствие условию работоспособности

$$T_{\text{тр}} \geq \beta T_{\text{ном}},$$

где  $\beta$  – коэффициент запаса сцепления, зависящий от рабочих условий (табл. 9.20) и условию износостойкости

$$p \leq [p].$$

| Значение $\beta$ в зависимости от рабочих условий             |                |
|---|----------------|
| Рабочие условия   | $\beta$        |
| Металлорежущие станки   | 1,3–1,5        |
| Автомобили  | 1,2–1,5 (до 2) |
| Сельскохозяйственные тракторы                                 | 2,0–3,5        |
| Транспортные тракторы   | 1,5–2,0        |
| Поршневые насосы (многоцилиндровые), прессы                   | 1,3–1,7        |
| Компрессоры, деревообрабатывающие станки, большие вентиляторы | 1,7            |
| Механизмы подъемно-транспортных машин:                        |                |
| муфты, включаемые под нагрузкой                               | 1,35–1,50      |
| муфты, включаемые без нагрузки                                | 1,25–1,35      |

### 9.6.1. МУФТЫ ДИСКОВЫЕ

Муфта с одной парой поверхностей трения (рис. 9.19) приводится в рабочее положение прижимной силой  $F_{np}$ .

При малых вращающих моментах, передаваемых муфтой, оба диска изготавливают из металла; при больших моментах один из дисков облицовывают фрикционным материалом, что позволяет увеличить трение рабочих поверхностей и, следовательно, уменьшить силу прижатия  $F_{np}$ .

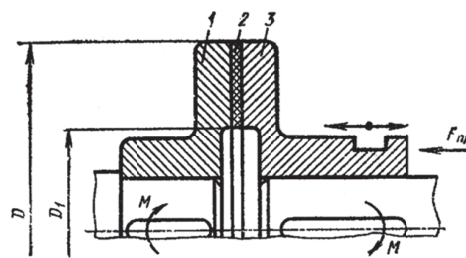


Рис 9.19. Фрикционная сцепная муфта

Момент силы трения, вращающий ведомую полумуфту, определяют по формуле

$$T_{mp} = F_{np} R_{cp} f,$$

где  $R_{cp} = (D + D_1)/4$  – средний радиус рабочих поверхностей дисков;  $f$  – коэффициент трения (табл. 9.20).

Сила прижатия  $F_{np} \geq 4 \beta T_{ном} / [f (D + D_1)]$ , где  $k$  – коэффициент запаса сцепления;  $\beta$  – табл. 9.21;  $T_{ном}$  – номинальный момент, передаваемый муфтой.

Значения коэффициента трения  $f$  и допустимого давления  $[p]$  для фрикционных муфт и основные характеристики пар трения приведены в табл. 9.21, 9.22 и 9.23. Большие значения  $f$  и  $[p]$ , приведенные в табл. 9.21, относятся к муфтам, пробуксовывающим редко и передающим вращающие моменты в сравнительно узком диапазоне ( $\beta < 1,3$ ); меньшие значения  $f$  и  $[p]$  принимают для часто пробуксовывающих муфт при сравнительно значительных колебаниях нагрузки ( $\beta > 1,3$ ). Для сцепных муфт следует принимать  $[p]$  по нижнему пределу и вводить поправку, учитывающую среднюю окружную скорость на приведенном радиусе поверхности трения; с этой целью значения  $[p]$  в табл. 9.21 надо умножать на скоростной коэффициент.

$$k_v = \sqrt[3]{2,5/v}, \text{ где } v \text{ м/с.}$$

Таблица 9.21

Значения  $f$  и  $[p]$  для фрикционных муфт

| Трущиеся поверхности |  | $f$       | $[p]$ , Н/мм <sup>2</sup> , для муфт |          |
|----------------------|--|-----------|--------------------------------------|----------|
|                      |  |           | конусных                             | дисковых |
| Со смазкой           | Сталь по стали (закаленные)                      | 0,08–0,10 | –                                    | 0,3–0,6  |
|                      | Чугун по чугуну или стали                        | 0,1–0,15  | 1–1,2                                | 0,3–0,6  |
|                      | Металлокерамика по стали                         | 0,05–0,08 | 0,8–1,0                              | 0,5–0,8  |
|                      | Бронза по чугуну или закаленной стали            | 0,05–0,08 | 0,2–0,5                              | 0,2–0,5  |
|                      | Сталь по текстолиту                              | 0,15      |                                      | 0,2–0,5  |
| Без смазки           | Чугун по чугуну или стали                        | 0,15      | 0,3–0,4                              | 0,2–0,3  |
|                      | Асбестовая обкладка по стали или чугуну          | 0,3       | 0,2–0,3                              | 0,2–0,3  |
|                      | Ретинакс по стали или чугуну                     | 0,3       |                                      | 1,0–1,5  |
|                      | Металлокерамическое покрытие по стали или чугуну | 0,1–0,2   | 0,8–1,0                              | 0,8–1,0  |

Примечание. Если не предусматривается тепловой расчет, то для многодисковых муфт при  $v=5$  м/с  $[p]$  снижают на 15%, при  $v=10$  м/с – на 30%, при  $v=15$  м/с – на 35%.

Ориентировочные значения допускаемых давлений, коэффициента трения и температуры фрикционных пар

| Фрикционная пара   | Коэффициент трения |            |                    | Допустимое давление [р], МПа              | Допустимая температура, °С |
|--|--------------------|------------|--------------------|---|----------------------------|
|  | без смазки         | со смазкой | с попаданием масла |   |                            |
| Металлокерамика – закаленная сталь   | 0,18–0,40          | 0,08–0,15  | –                  | Без смазки 0,3–0,5<br>со смазкой 0,8–1,0  | –                          |
| Ретинакс марки ФК-24А<br>(ГОСТ 10851–94) – закаленная сталь  | 0,25–0,35          | 0,08–0,10  | –                  | Без смазки 1,0–1,5                        | 600–800                    |
| Прессованный асбест – закаленная сталь   | 0,3–0,4            | 0,1–0,2    | –                  | Без смазки 0,2–0,4<br>со смазкой 0,5–1,0  | 150–250                    |
| Композиционный материал марки НСФ-6<br>(ГОСТ 1786–95)<br>на основе каучука с металлическим наполнителем – закаленная сталь | 0,40–0,53          | –          | –                  | –   | 100–150                    |
| Тормозная лента ВИАМ-12 – сталь  | 0,28–0,33          | 0,08–0,10  | –                  | Без смазки 0,6–0,8<br>со смазкой 0,9–1,0  | –                          |
| Порошковые металлические обкладки –<br>закаленная сталь  | 0,35–0,55          | 0,05–0,10  | –                  | Без смазки 0,8–1,0<br>со смазкой 1–1,5    | –                          |
| Бронза – сталь   | 0,10–0,15          | 0,05–0,10  | 0,10               | Без смазки 0,4–0,5<br>со смазкой 0,6–0,8  | 150                        |
| Чугун–сталь  | 0,15–0,18          | 0,06–0,08  | 0,12               | Без смазки 0,25–0,4<br>со смазкой 0,6–0,8 | 150                        |
| Чугун–чугун  | 0,15–0,20          | 0,06–0,08  | 0,15               | Без смазки 0,4–0,6<br>со смазкой 0,6–1,0  | 300                        |

Примечания: 1. Меньшие значения давлений – при большем числе поверхностей трения, большие при малом.

2. При  $v > 25$  м/с давление рекомендуется понижать: на 15% при  $v = 15$  м/с, на 30% при  $v = 10$  м/с; на 35% при  $v = 15$  м/с (скорость можно определять по среднему радиусу поверхности трения);  $v = \pi R_{cp} n / 30$ .

Т а б л и ц а 9.23

Основные характеристики пар трения и их применение в муфтах

| Пара трения                            | Статический коэффициент трения, $f_n$ | Динамический коэффициент трения, $f_{дв}$ | Соотношение коэффициентов трения, $f_n/f_{дв}$ | Максимальная скорость скольжения, м/с | Максимальная температура (масла) на поверхности трения, °С | Максимальная тепловая нагрузка, Вт/см <sup>2</sup> | Удельный износ, см <sup>2</sup> /(кВт·м) | Некоторые типичные примеры применения                                    |
|--|---------------------------------------|---|--|---------------------------------------|--|--|--|--|
| Сталь–спеченная бронза:<br>в масле     | 0,08–0,12                             | 0,06–0,09                                 | 1,3–1,5  | 30–50                                 | $[T]_{max}$ масла  | 0,6–2,3  | 0,017–0,069                              | Электромагнитные муфты с магнитным потоком не проходящим сквозь диски    |
| Всухую                                 | 0,21–0,40                             | 0,18–0,30                                 | 1,2–1,3  | 15–40                                 | 300–350  | 0,35–1,60  | 0,086–0,344                              | Многодисковые муфты с механическим включением гидро-и пневмоустройствами |
| Сталь – сталь<br>(в масле)             | 0,11–0,18                             | 0,06–0,09                                 | 1,8–2,0  | 15–20                                 | 200–250  | 0,25–0,60  | 0,034                                    | Электромагнитные муфты с магнитным потоком, проходящим сквозь диски      |
| Сталь – органический материал (всухую) | 0,31–0,52                             | 0,28–0,40                                 | 1.1–1,3  | 20                                    | 250–300  | 0,25–0,35  | 0,172–0,258                              | Многодисковые предохранительные фрикционные муфты                        |

Примечание. Здесь индексы: п – покой; дв – движение.

## 9.6.2. МУФТЫ МНОГОДИСКОВЫЕ

Для уменьшения силы  $F_{np}$  и габаритных размеров муфты применяют конструкции не с одной, а со многими парами поверхностей трения – многодисковые муфты (рис. 9.20).

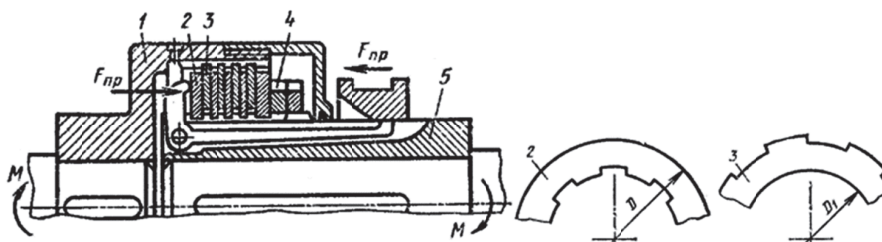


Рис. 9.20. Многодисковая муфта

В этих муфтах имеются две группы дисков: внутренние 2 и наружные 3. Наружные диски с  $D_1$  соединены с полумуфтой 1, а внутренние с  $D$  – с полумуфтой 5 посредством подвижного шлицевого соединения. Правый крайний внутренний диск опирается на регулировочные гайки 4; на левый крайний диск действуют силы нажатия от механизма управления. При этом сила нажатия будет передаваться на все поверхности трения. Момент силы трения, вращающий ведомую полумуфту, будет определяться по формуле:

$$T_{тр} = F_{np} R_{cp} f z,$$

где  $z = (z_1 + z_2) - 1$  – число пар трущихся поверхностей,  $z_1$  и  $z_2$  – число ведущих и ведомых дисков в муфте.

Число ведущих дисков выбирают не более 11, так как действие прижимной силы  $F_{np}$  на последние диски постепенно уменьшается вследствие трения выступов дисков в пазах полумуфт. Толщину стальных дисков принимают 1,5...2,5 мм для муфт со смазкой и 2,5...5 мм – для муфт без смазки. Зазор между дисками выключенной муфты – от 0,2 до 1 мм в зависимости от материала поверхностей трения. Все диски в муфте должны быть параллельными и соосными во избежание их местного повышенного изнашивания и нагрева. Диски фрикционных муфт проверяют на износостойкость по условию

$$p = \frac{4F_{np}}{\pi(D^2 - D_1^2)} \leq [p],$$

где  $[p]$  – допустимое давление на поверхности трения муфты (табл. 9.22).

### 9.6.3. МУФТЫ ФРИКЦИОННЫЕ С ПНЕВМАТИЧЕСКИМИ ИЛИ ГИДРАВЛИЧЕСКИМИ ШИНАМИ

По форме рабочей поверхности могут быть конусные (рис. 9.21, а), цилиндрические (рис. 9.21, б), колодочные и ленточные, порошковые электромагнитные, у которых между полумуфтами в корпусе помещается железный порошок. В зависимости от степени намагничивания порошка изменяется «вязкость» порошка и этим изменяется передаваемый крутящий момент муфтой.

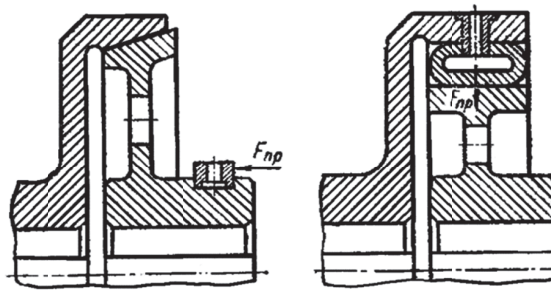


Рис. 9.21. Фрикционные сцепные муфты

Угол  $\alpha$  конусной части муфты, соединяющей полумуфты во избежание заклинивания должен быть больше угла трения  $\rho$ ; для чугунных муфт обычно принимают  $\alpha = 8...15^\circ$  (для сцепных муфт) или  $\alpha = 15...30^\circ$  (для предохранительных муфт).

Усилие для включения муфты  $F_{np}$ , под действием которого возникает сила трения (рис. 9.22), достаточная для передачи окружного усилия  $F_t$ , определяют по формуле

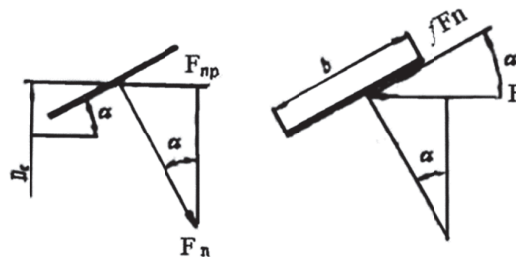


Рис. 9.22. Силы в зацеплении фрикционной сцепной муфты

$$F_t = fF_n = 2 T_p / D_c,$$

где  $T_p = \beta T_{ном}$ ,  $\beta = 1,25...1,5$

$$F_n = F_{np} / \sin \alpha$$

или  $F_{np} = F_t \sin \alpha / f = 2 T_{max} \sin \alpha / D_c f$ .



Такого усилия со стороны пружины достаточно для удержания муфты во включенном состоянии; однако после срабатывания муфты пружина должна обеспечивать включение муфты с преодолением добавочного сопротивления от составляющей силы трения

$$fF_n \cos \alpha:$$

$$F = F_{\text{пр}} + fF_n \cos \alpha = 2T_p / D_c f (\sin \alpha + f \cos \alpha).$$

Это усилие используется при расчете пружины.

Критерием работоспособности муфты служит величина среднего давления, приходящегося на единицу поверхности трения:

$$P = F_n / \pi D_c b,$$

заменяя  $F_n = 2 T_{\text{max}} / D_c f b$  и вводя обозначение  $\psi = b / D_c$ , получим

$$2 T_{\text{max}} / \pi D_c f \psi \leq [P].$$

Отсюда

$$D_c = \sqrt[3]{\frac{2T_{\text{max}}}{\pi f \psi [P]}},$$

где  $f$  и  $[P]$  приведены в табл. 9.21, отношение  $\psi = b / D_c = (0,15 \dots 0,25) D_c$ .

Муфту проверяют по среднему давлению, приходящемуся на единицу поверхности трения

$$P = \frac{2T_p}{\pi D_c^2 b f},$$

где  $T_p = \beta T_{\text{ном}}$  – расчетный момент;  $D_c \approx (2,5 \dots 4)d$ , где  $d$  – диаметр вала под подвижной полумуфтой.

#### 9.6.4. МУФТЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ

Электромагнитные муфты по принципу работы аналогичны фрикционным многодисковым муфтам, но отличается тем, что сила притяжения  $F_{\text{пр}}$  создается действием электромагнита, магнитный поток которого может проходить через сжимаемые (магнитопроводящие) диски или сжимать диски при вынесенных дисках из магнитного потока (рычажные).

ГОСТ 21573-76 распространяется на электромагнитные муфты с магнитопроводящими дисками. Предусмотрены следующие типы муфт:

- муфты с контактным токоприемником;
- муфты с бесконтактным токоподводом (с неподвижной катушкой);
- муфты тормозные с ведомыми внутренними или наружными дисками.

На рис. 9.23, приведена конструкция муфты электроконтактного исполнения, состоящая:

- из ведомой втулки 1, соединенной с корпусом 3 торцевым немагнитным сварным швом 2; внутренних фрикционных дисков 6, соединенных эвольвентными шлицами с втулкой 1;
- наружных дисков 7, имеющих пазы  $b$ , в зацепление с которыми входят выступы поводка (рис. 9.23, б). Через поводок муфта соединяется с механизмом;
- катушки 4, якоря 8, токоприемного кольца 5.

При прохождении постоянного тока через катушку 4 рабочий магнитный поток замыкается по контуру Ф. Якорь 8 и пакет дисков 6 и 7 притягиваются к корпусу 3. Таким образом, вращающий момент с втулки 1 через диски 6 и 7 передается на поводок.

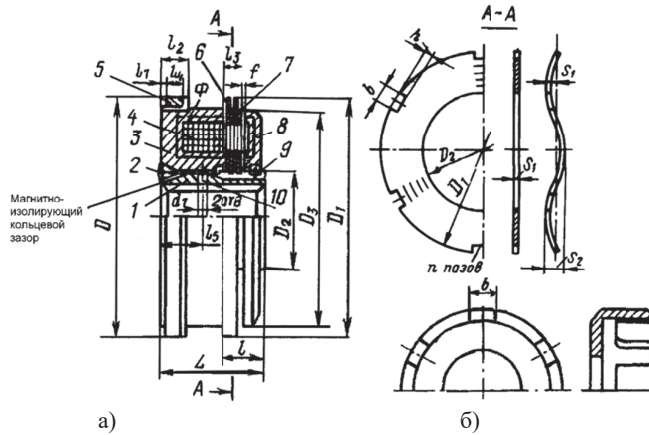


Рис. 9.23. Муфта контактного исполнения:  
а – конструкция муфты; б – поводок

Расцепление дисков при отключении питания муфты обеспечивается упругими наружными дисками, которые имеют волнообразный профиль, где  $S_2 \approx (1,2 \div 1,25)S_1$ . В результате якорь отходит вправо до упора в бронзовое кольцо 9.

Основные технические параметры муфт контактного исполнения (мм) приведены в табл. 9.24.

Таблица 9.24

Основные технические параметры муфт контактного исполнения, (мм)

| Тном,<br>Н·м | D   | D <sub>1</sub> | D <sub>2</sub> | D <sub>3</sub> | L   | l    | l <sub>1</sub> | l <sub>2</sub> | l <sub>3</sub> | l <sub>4</sub> | l <sub>5</sub> | f   | d <sub>1</sub> | b  | n  | z   |
|--------------|-----|----------------|----------------|----------------|-----|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----|----------------|----|----|-----|
| 16           | 72  | 72             | 28             | 67             | 30  | 10,7 | 1,5            | 13             | 4,9            | 10             | 7              | 1,0 | 3              | 10 | 4  | 3/4 |
| 25           | 80  | 78             | 32             | 70             | 32  | 11   | 1,5            | 14             | 4,9            | 10             | 7              | 1,1 | 3              | 10 | 6  | 3/4 |
| 40           | 90  | 88             | 35             | 80             | 35  | 12,5 | 1,5            | 16             | 5,6            | 12             | 10             | 1,2 | 3              | 12 | 6  | 3/4 |
| 63           | 100 | 98             | 42             | 90             | 38  | 15   | 1,5            | 16             | 7,2            | 12             | 10             | 1,6 | 3              | 12 | 6  | 4/5 |
| 100          | 110 | 110            | 50             | 100            | 42  | 16   | 1,5            | 18             | 7,2            | 14             | 10             | 2,1 | 4              | 12 | 6  | 4/5 |
| 160          | 120 | 120            | 55             | 110            | 45  | 18,5 | 1,5            | 20             | 9,0            | 16             | 10             | 2,3 | 4              | 16 | 6  | 4/5 |
| 250          | 135 | 135            | 60             | 125            | 52  | 22   | 1,5            | 22             | 11,0           | 18             | 12             | 3,2 | 4              | 16 | 6  | 5/6 |
| 400          | 150 | 150            | 70             | 140            | 60  | 23,5 | 2,0            | 25             | 10,8           | 20             | 12             | 3,3 | 4              | 16 | 8  | 5/6 |
| 360          | 170 | 170            | 80             | 160            | 68  | 27   | 2,0            | 28             | 13,2           | 22             | 13             | 4,1 | 4              | 20 | 8  | 6/7 |
| 1000         | 190 | 190            | 100            | 180            | 78  | 32,5 | 2,0            | 31             | 17,6           | 25             | 18             | 3,6 | 5              | 20 | 8  | 6/7 |
| 1600         | 215 | 215            | 110            | 200            | 90  | 37,5 | 2,0            | 34             | 20,8           | 28             | 18             | 4,0 | 5              | 20 | 8  | 6/7 |
| 2500         | 240 | 240            | 130            | 220            | 100 | 43   | 2,0            | 38             | 24,0           | 32             | 20             | 5,5 | 6              | 25 | 8  | 7/8 |
| 4000         | 270 | 270            | 140            | 250            | 110 | 49   | 2,0            | 42             | 27,2           | 35             | 20             | 7,3 | 6              | 25 | 10 | 8/9 |

Примечание. Для z в числителе условной дроби приведено число наружных дисков, в знаменателе – внутренних.

**Пример**

Масляная многодисковая фрикционная муфта для передачи мощности  $P = 3,1$  кВт при угловой скорости  $\omega = 60$  рад/с. Муфта работает при переменной нагрузке. Материал дисков – Сталь 65Г с закалкой до твердости HRC  $\geq 60$ . Число ведущих дисков  $z_1 = 9$ , ведомых –  $z_2 = 10$ . Диаметр дисков  $D_1 = 110$  мм и  $D_2 = 82$  мм.

Необходимо определить силу сжатия дисков для включения муфты и проверить диски на износостойкость.

*Вычисление*

Коэффициент режима работы муфты  $k = 1,7$

$$T_{расч} = kT = kP / \omega = 1,7 \cdot 3,1 \cdot 10^3 / 60 = 87,8 \text{ Н·м}$$

Расчетные коэффициенты  $f = 0,12$ ,  $k = 1,4$ .

Средний радиус поверхностей трения

$$R_{ср} = (D + D_1) / 4 = (110 + 82) / 4 = 48 \text{ мм.}$$

Число пар трущихся дисков

$$z = (z_1 + z_2) - 1 = 9 + 10 - 1 = 18.$$

Сила прижатия дисков

$$F_{np} \geq 4 k T_{ном} / [f(D + D_1)] = T_{расч} k / f R_{ср} z = 87,8 \cdot 10^3 \cdot 1,4 / 0,12 \cdot 48 \cdot 18 = 1186 \text{ Н}.$$

Окружная скорость на среднем радиусе

$$v = R_{ср} \omega = 60 \cdot 0,048 = 2,88 \text{ м/с}.$$

Допускаемое давление  $[p] = 0,4 \text{ Н/мм}^2$

Расчетное давление на износостойкость

$$p = \frac{4F_{np}}{\pi(D^2 - D_1^2)} = \frac{4 \cdot 1186}{\pi(110^2 - 82^2)} = 0,3 \text{ Н/мм}^2 \leq [p] = 0,4 \text{ Н/мм}^2.$$

Удовлетворяет условию износостойкости.

## 9.7. МУФТЫ САМОДЕЙСТВУЮЩИЕ

### 9.7.1. МУФТЫ ОБГОННЫЕ

*Муфты обгонные* или *муфты свободного хода*, автоматически сцепляют и расцепляют валы в зависимости от соотношения угловых скоростей валов. Если скорость ведущего вала больше скорости ведомого вала, то муфта сцепляет валы. При меньшей скорости ведущего вала муфта расцепляет валы, не препятствуя ведомому валу свободно обгонять ведущий вал, откуда и происходит наименование муфт. Муфты свободного хода широко применяются в велосипедах, мотоциклах, коробках передач автомобилей, металлорежущих станках и других машинах.

Обгонные муфты по способу сцепления полумуфт различают *храповые* и *фрикционные*. Наиболее распространены фрикционные обгонные муфты с роликами, так как у них почти полностью отсутствует мертвый ход и работают они бесшумно.

Принципиальная схема роликовой муфты свободного хода представлена на рис.9.24.

*Обгонная фрикционная муфта с роликами* состоит из обоймы 2 и звездочки 4, являющихся полумуфтами, роликов 3 и прижимных устройств 1. Число роликов – от 3 до 8, а иногда и больше. При значительной длине ролика может быть установлено по два прижимных устройства на каждый ролик. Для исключения перекоса роликов необходимо применять сепараторы.

Каждый ролик отжимается пружиной 1 в сужающуюся часть паза. Если ведущая полумуфта – звездочка, то сцепление валов может происходить только при вращении ее по часовой стрелке, а если ведущая полумуфта – обойма, то сцепление валов может произойти при вращении ее против часовой стрелки. При указанном вращении ведущей полумуфты каждый ролик закатывается в сужающуюся часть паза и заклинивается между полумуфтами, в результате чего и происходит сцепление полумуфт и соединение валов. При обратном вращении ведущей полумуфты ролики выкатываются в более широкую часть пазов и полумуфты расцепляются. Полумуфты и ролики для передачи больших нагрузок изготавливают из стали ШХ15 с термообработкой 58...60 HRC, а при небольших нагрузках – из сталей 20X и 40X с термообработкой 50...54 HRC.

Обычно внутренняя поверхность обоймы выполнена как поверхность цилиндра. Поверхность звездочки, по которой перемещается ролик, обычно выполняют по прямой, однако при наличии принципиальных соображений для получения более постоянных углов заклинивания она может быть выполнена по теоретической кривой (логарифмической спирали).

В зависимости от конструкции ведущим звеном муфты может быть как звездочка, так и обойма.

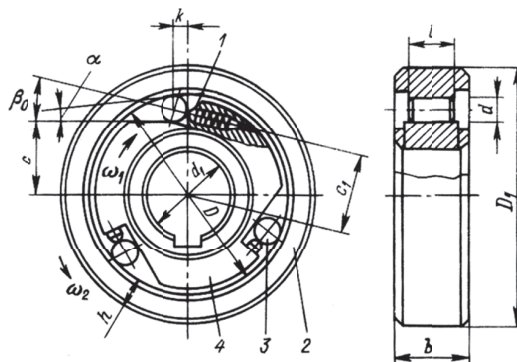


Рис. 9.24. Схема роликовой муфты свободного хода

Главным параметром муфты является угол заклинивания  $\alpha$ , обычно  $\alpha = 6-10^\circ$ , обычно принимается  $\alpha = 6^\circ$ . Геометрические параметры муфты могут быть предварительно определены по зависимости

$$D \approx 7,7 \cdot \sqrt[3]{T_{\text{расч}} / z}, \quad (1)$$

где  $T_{\text{расч}}$  – расчетный вращающий момент, Н·м;  $z$  – число роликов;  $D$ , мм – на рис. 9.24; Диаметр и длину ролика можно выбрать по следующим соотношениям:  $d_p \approx 0,125D$ ;  $l = 1,5d$ , где  $D$  – диаметр рабочей поверхности обоймы.

$$c = 0,5[\cos \alpha (D - d) - d], \quad (2)$$

если принять  $D/d \approx 8$ , то

$$c = 0,5[d (7 \cos \alpha - 1)],$$

$$\cos \alpha = (2c + d) / (D - d); \beta_0 \approx 15^\circ; D_I = D + 2h; l = 1,5 d; \quad (3)$$

$$c_I = [0,5(2c + d) - k \operatorname{tg} \beta_0] \cos \beta_0; \quad (4)$$

$$\text{где } k \approx 0,5 \sqrt{D^2 - 4(c + d)^2};$$

$$h_{\min} = \sqrt{\frac{30T_{\text{расч}}(D_1 + D)\varepsilon k_i}{DBf_c[\sigma]_H}}, \quad (5)$$

где  $D$ ,  $D_1$  и  $B$  в мм;  $\varepsilon = 1/2z [z/\pi - \operatorname{ctg}(180^\circ/z)]$  – коэффициент, учитывающий влияние числа роликов на деформацию обоймы;  $f_c$  – коэффициент скольжения по стали со смазкой, сталь по стали –  $f_c \approx 0,06$ ; для стали 20X  $[\sigma]_H = 200 \text{ Н/мм}^2$ ;  $k_i$  – коэффициент, учитывающий влияние радиуса кривизны обоймы на ее деформацию (табл. 9.25). Для выбора  $k_i$  предварительно определяют параметр  $(D_1 + D)/4h$ .

Таблица 9.25

Значения коэффициента, учитывающего влияние радиуса кривизны обоймы

|                |      |      |      |      |      |     |     |      |      |      |
|----------------|------|------|------|------|------|-----|-----|------|------|------|
| $k_i$          | 2,89 | 2,13 | 1,79 | 1,63 | 1,52 | 1,3 | 1,2 | 1,12 | 1,09 | 1,07 |
| $(D_1 + D)/4h$ | 0,6  | 0,7  | 0,8  | 0,9  | 1,0  | 1,5 | 2   | 3    | 4    | 5    |

Толщину обоймы принимают: для малых муфт  $h = 1/5D$ , для больших –  $h = 1/8D$ .

**Принцип действия роликовых муфт.** Схема действия муфты с цилиндрическими роликами и плоским профилем рабочей поверхности звездочки показана на рис. 9.25. Положение ролика с центром в  $F_1$  – рабочее (заклиненное) положение; положение ролика с центром в  $F_2$  – положение его в период свободного хода (расклиненное состояние);  $S$  – зазор между роликами и внутренней поверхностью обоймы в расклиненном состоянии, обеспечивающий свободный ход.

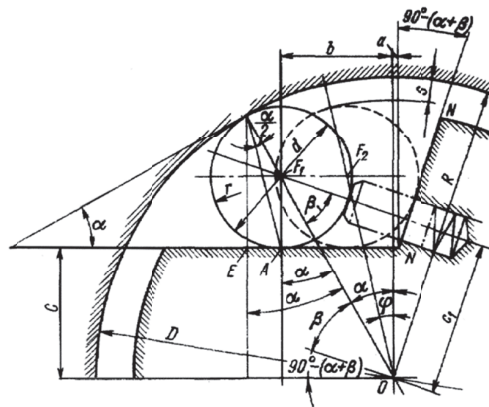


Рис. 9.25. Муфта с цилиндрическими роликами и плоским профилем рабочей поверхности звездочки

К соотношениям (2) и (3) добавляются:

$$\cos(\alpha/2) = \sqrt{\frac{D + 2c}{2(D - d)}} \quad (6)$$

$$b = [(D - d)/2] \sin \alpha; c_I = [(D - d)/2] \sin \beta.$$

Из уравнений (3) и (6) видно, что с увеличением  $\epsilon$  и  $d$  угол заклинивания  $\alpha$  уменьшается, с увеличением  $D$  – увеличивается. На угол  $\alpha$  существенно влияют погрешности изготовления деталей муфты. Если обозначить индексами  $b$  и  $m$  наибольшее и наименьшее предельные отклонения размеров деталей, то формулу (3) можно записать так:

$$\cos \alpha_m = - (2c_b + d_b) / (D_m - d_b); \quad (7)$$

$$\cos \alpha_b = - (2c_m + d_m) / (D_b - d_m), \quad (8)$$

Между величинами  $\alpha$  и  $S$  имеется связь:

$$\alpha = 0,5 \frac{d[1 - \cos(\alpha + \beta)]}{\sin(\alpha + \beta) - (D - d - 2S) \sin \varphi}; \quad (9)$$

$$\cos \varphi = \frac{(D - d) \cos \alpha}{D - d - 2S}. \quad (10)$$

Предельные отклонения размеров  $c$  и  $c_l$ , принимают следующие значения – табл. 9.26.

Таблица 9.26

Размеры  $c$  и  $c_l$  (мм) с предельными отклонениями

| $D$ | $c$        | $c_l$    | $D$ | $c$        | $c_l$     |
|-----|------------|----------|-----|------------|-----------|
| 32  | 11,92-0,01 | 13,0-0,2 | 100 | 36,76-0,06 | 40,5- 0,5 |
| 40  | 14,90-0,01 | 16,3-0,2 | 125 | 46,20-0,08 | 50,8-0,5  |
| 50  | 18,87-0,02 | 21,2-0,3 | 160 | 59,61-0,13 | 62,5-0,6  |
| 65  | 24,34-0,03 | 26,6-0,3 | 200 | 74,52-0,14 | 81,5-0,6  |
| 80  | 29,80-0,04 | 32,6-0,3 |     |            |           |

Если принять, например,  $D = 200$ , то  $D_M = D_{НОМ} = 200$ ,  $D_b = 200 + 0,045 = 200,045$ ;

$$d_M = 25,0 - 0,014 = 24,986; d_b = d_{НОМ} = 25,0; c_m = 74,52 - 0,14 = 74,38; c_b = 74,52$$

(для роликов предельное отклонение и разница между  $\cos \alpha_m$  и  $\cos \alpha_b$  [см. формулы (7) и (8)] составит около  $1^\circ$ ). Следует иметь в виду, что кроме погрешностей изготовления на величину угла  $\alpha$  оказывают влияние также деформации деталей и их износ.

Расчет обгонной роликовой муфты заключается в проверочном расчете роликов и рабочих поверхностей полумуфт на контактную прочность:

$$\sigma_H = 0,418 \sqrt{\frac{8T_{расч} E_{np}}{zDdl\alpha}} \leq [\sigma]_H \quad (11)$$

где  $\sigma_H$  – расчетное контактное напряжение между роликом и полумуфтой;  $[\sigma]_H$  – допускаемое контактное напряжение между ними;  $T_{расч}$  – момент, передаваемый муфтой;  $E_{np}$  – приведенный модуль упругости (при одинаковых материалах полумуфт и роликов  $E_{np} = E$ , где  $E$  – модуль упругости материала полумуфт и роликов;  $z$  – число роликов;  $D$  – диаметр рабочей поверхности обоймы;  $d$  – диаметр роликов;  $l$  – длина роликов;  $\alpha$  – угол заклинивания роликов (рекомендуется принимать  $\alpha = 7^\circ$ ). При твердости контактных поверхностей роликов и полумуфт HRC > 60 допускаемое контактное напряжение  $[\sigma]_H \leq 150$  МПа.

Муфты свободного хода применяют для валов диаметром 10...90 мм, число роликов 3...5, диаметр рабочей поверхности обоймы 32...200 мм, момент, передаваемый муфтой 0,25...7,7 Н·м.

Основные технические параметры трехроликовых муфт приведены на рис 9.26 и в табл. 9.27.

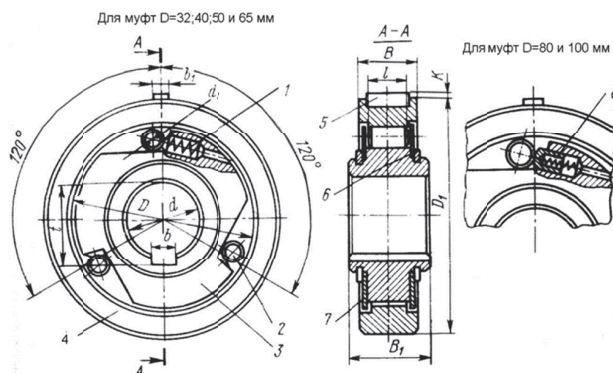


Рис. 9.26. Трехроликовые муфты:

1- поджимные пружины; 2- цилиндрические ролики; 3 и 4 – внутренняя и наружная обоймы; 5 – шпонка; 6 – пружинные кольца; 7 – ограничительные шайбы; 8 – толкатель роликов

Основные технические параметры трехроликовых муфт, (мм)

| T <sub>ном</sub> ,<br>Н·м | D   | d  | D <sub>1</sub> | d <sub>1</sub> | B      |       | B <sub>1</sub> |       | b  | t     | b <sub>1</sub> | l  | K   | Масса,<br>кг |
|---------------------------|-----|----|----------------|----------------|--------|-------|----------------|-------|----|-------|----------------|----|-----|--------------|
|                           | H7  | H7 | R6             | h6             | номин. | откл. | номин.         | откл. | H8 | +0,12 | h8             | h8 |     |              |
| 2,5                       | 32  | 10 | 45             | 4              | 12     | -0,12 | 18             | +0,24 | 3  | 11,1  | 3              | 8  | 1,2 | 0,14         |
|                           |     | 12 |                |                |        |       |                |       |    | 13,7  |                |    |     |              |
| 5,0                       | 40  | 14 | 55             | 5              | 15     | -0,12 | 22             | 0,28  | 5  | 15,6  | 4              | 10 | 1,8 | 0,26         |
|                           |     | 16 |                |                |        |       |                |       |    | 17,0  |                |    |     |              |
|                           |     | 18 |                |                |        |       |                |       |    | 19,9  |                |    |     |              |
|                           |     | 20 |                |                |        |       |                |       |    | 17,9  |                |    |     |              |
| 8,0                       | 50  | 16 | 70             | 6              | 18     | -0,15 | 25             | 0,28  | 6  | 19,9  | 5              | 12 | 2,3 | 0,55         |
|                           |     | 20 |                |                |        |       |                |       |    | 22,3  |                |    |     |              |
| 18,0                      | 65  | 16 | 85             | 8              | 20     | -0,15 | 28             | 0,34  | 5  | 17,9  | 6              | 14 | 2,3 | 0,87         |
|                           |     | 20 |                |                |        |       |                |       |    | 22,3  |                |    |     |              |
|                           |     | 25 |                |                |        |       |                |       |    | 27,6  |                |    |     |              |
| 35,5                      | 80  | 20 | 105            | 10             | 25     | -0,15 | 35             | 0,34  | 6  | 22,3  | 6              | 18 | 2,6 | 1,60         |
|                           |     | 25 |                |                |        |       |                |       |    | 27,6  |                |    |     |              |
|                           |     | 30 |                |                |        |       |                |       |    | 32,6  |                |    |     |              |
| 71,0                      | 100 | 25 | 130            | 13             | 30     | -0,2  | 45             | 0,34  | 8  | 27,6  | 8              | 24 | 3,2 | 2,80         |
|                           |     | 30 |                |                |        |       |                |       |    | 32,6  |                |    |     |              |
|                           |     | 35 |                |                |        |       |                |       |    | 37,9  |                |    |     |              |
|                           |     | 40 |                |                |        |       |                |       |    | 42,9  |                |    |     | 2,90         |

Основные технические параметры пятироликовых муфт приведены на рис 9.27 и в табл. 9.28.

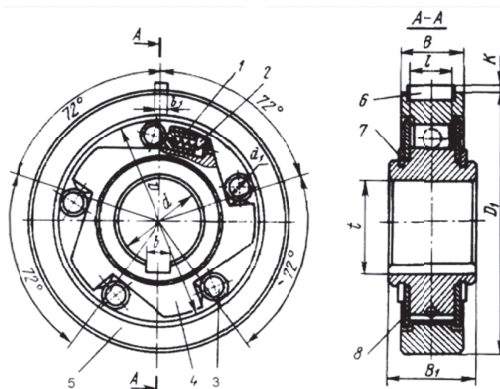


Рис. 9.27. Пятироликовые муфты:

1 – толкатель роликов; 2 – поджимные пружины; 3 – цилиндрические ролики; 4 и 5 – внутренняя и наружная обоймы; 6 – шпонка; 7 – пружинные кольца; 8 – ограничительные шайбы

Основные технические параметры пятироликовых муфт, (мм)

| T <sub>ном</sub> ,<br>Н·м | D   | d  | D <sub>1</sub> | d <sub>1</sub> | B      |          | B <sub>1</sub> |          | b  | t     | b <sub>1</sub> | l   | K   | Масса, кг |
|---------------------------|-----|----|----------------|----------------|--------|----------|----------------|----------|----|-------|----------------|-----|-----|-----------|
|                           | H7  | H7 | R6             | h6             | номин. | отклонен | номин.         | отклонен | H8 | +0,12 | h8             | D11 |     |           |
| 56                        | 80  | 25 | 105            | 10             | 25     | -0,15    | 35             | +0,34    | 8  | 27,6  | 6              | 18  | 2,6 | 1,55      |
|                           |     | 30 |                |                |        |          |                |          |    | 32,6  |                |     |     |           |
|                           |     | 35 |                |                |        |          |                |          |    | 37,9  |                |     |     |           |
| 125                       | 100 | 30 | 130            | 13             | 30     | -0,29    | 45             | +0,34    | 8  | 32,6  | 8              | 24  | 3,2 | 2,70      |
|                           |     | 35 |                |                |        |          |                |          |    | 37,9  |                |     |     |           |
|                           |     | 40 |                |                |        |          |                |          |    | 42,9  |                |     |     |           |
| 224                       | 125 | 35 | 160            | 16             | 35     | -0,25    | 55             | +0,40    | 10 | 37,9  | 8              | 28  | 3,2 | 5,60      |
|                           |     | 40 |                |                |        |          |                |          |    | 42,9  |                |     |     |           |
|                           |     | 45 |                |                |        |          |                |          |    | 48,3  |                |     |     |           |
| 400                       | 160 | 70 | 200            | 20             | 40     | -0,30    | 60             | +0,40    | 14 | 53,6  | 12             | 32  | 3,8 | 9,10      |
|                           |     | 50 |                |                |        |          |                |          |    | 74,3  |                |     |     |           |
| 800                       | 200 | 90 | 250            | 25             | 50     |          | 70             |          | 20 | 95,2  | 12             | 40  | 3,8 | 16,00     |



### 9.7.2. МУФТЫ ЦЕНТРОБЕЖНЫЕ

Муфты центробежные по способу сцепления полумуфт представляют собой фрикционные муфты, в которых в отличие от фрикционных управляемых муфт сцепления, полумуфты сцепляются или расцепляются автоматически.

По виду рабочего элемента центробежные муфты делятся на колодочные и муфты с наполнителем. Наполнителем может быть стальная дробь, стальной порошок и т. п.

### 9.7.3. КОЛОДОЧНЫЕ МУФТЫ

Муфты колодочные бывают нормально-разомкнутые и нормально-замкнутые. Обычно с ведущим валом связана полумуфта с колодками, а с ведомым – полумуфта с обоймой.

В нормально-разомкнутых муфтах рабочие элементы разжаты пружинами. При достижении ведущим валом заданной угловой скорости центробежные силы, действуя на грузы, раздвигают их и прижимают к рабочей поверхности обоймы и производят включение муфты. Передача вращающего момента осуществляется силой трения, пропорциональной квадрату угловой скорости.

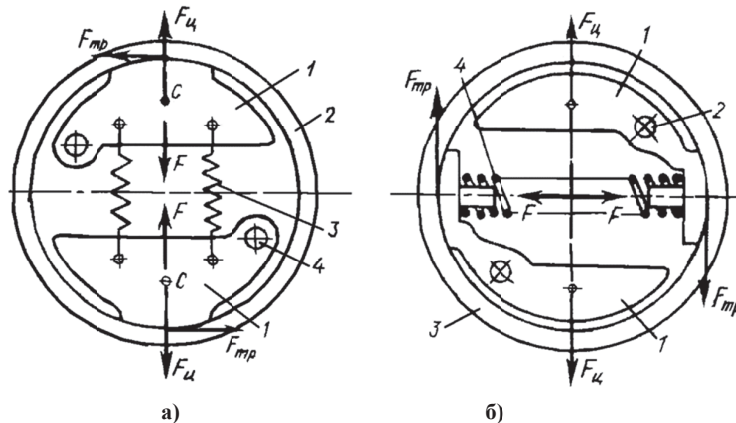


Рис. 9.28. Принципиальная схема центробежной колодочной муфты:  
а – нормально-разомкнутые; б – нормально-замкнутые

Эти муфты используют в качестве пусковых для облегчения разгона машин двигателями с малыми пусковыми моментами (асинхронные двигатели, двигатели внутреннего сгорания) и получения плавной характеристики пускового режима.

Нормально-замкнутые муфты при достижении определенной скорости размыкаются и поэтому их используют для ограничения чрезмерного возрастания скорости рабочей машины.

На рис. 9.28 представлены принципиальные схемы колодочных муфт.

Нормально разомкнутая муфта (рис. 9.28, а) имеет на ведущей полумуфте колодки 1 с осью поворота 4 и пружины 3, отжимающие с силой  $F$  колодки от рабочей поверхности обоймы ведомой полумуфты 2. По мере разгона ведущей полумуфты центробежные силы  $F_{ц}$ , преодолевая силу пружины, прижимают колодки к рабочей поверхности обоймы ведомой полумуфты, вызывая появление силы трения  $F_{тр}$  для передачи нагрузки.

Нормально-замкнутая муфта (рис. 9.28, б) имеет на ведущей полумуфте колодки 1 с осью поворота 2, которые силой  $F$  пружины сжатия 4 прижимаются к рабочей поверхности обоймы ведомой полумуфты 3. При превышении ведущей полумуфтой допустимой скорости центробежные силы, преодолевая силу пружин, плавно отводят колодки от рабочей поверхности обоймы ведомой полумуфты.

Для колодочных муфт с отжимными пружинами момент сил трения  $T_{тр}$ , развиваемый муфтой

$$T_{тр} = F_{тр} / R_{мп} z,$$

где  $F_{тр}$  – сила прижатия колодки к рабочей поверхности обоймы, Н;  $f$  – коэффициент трения (табл. 9.21);  $R_{мп}$  – радиус трения, м;  $z$  – число колодок.

$$F_{тр} = G \pi^2 r (n - n_0) / (900g),$$

где  $G$  – вес колодки, Н;  $r$  – расстояние от оси муфты до центра тяжести колодки;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $n$  – частота вращения муфты после полного сцепления, мин<sup>-1</sup>;  $n_0$  – частота вращения ведущей полумуфты, при которой центробежная сила колодки равна силе пружины, мин<sup>-1</sup>.

Обычно пружины подбирают так, чтобы  $n_0 = 0,75n$ .

Сила пружины

$$F_{п} = G \pi^2 r n_0 / (900g).$$

Для колодочных муфт без отжимных пружин момент сил трения

$$M_{тр} = \frac{G \pi^2 r}{900g} n^2 f R_{мп} z$$

Давление на колодках не должно превышать допустимого, определяемого ресурсом накладки

$$p = F_{np}/A \leq [p],$$

где  $A$  – площадь проекции рабочей поверхности колодки на диаметральную поверхность;  $[p]$  – допустимое давление (табл. 9.21).

Время разгона рабочей машины определяют в предположении, что ускорение будет постоянным. Для беспружинной муфты время разгона рабочей машины составит

$$t = \frac{\pi J_{np} n}{30(T_{тр} - T_c)} = \frac{GD^2 n}{375(T_{тр} - T_c)}.$$

Требуемый момент муфты

$$T_{тм} = \frac{GD^2 n}{375t} + T_c,$$

где  $T_{тр}$  – момент сил трения развиваемый муфтой без отжимных пружин;

$T_c = T_{вых} / (\eta \eta)$  – момент сил сопротивления, приведенный к валу муфты;

$T_{вых}$  – момент сил сопротивления на выходном валу передаточного механизма;  $u$  – передаточное отношение от электродвигателя до выходного вала передаточного механизма к рабочей машине;  $\eta$  – КПД передаточного механизма;  $J_{np}$  – момент инерции разгоняемых масс, приведенный к валу муфты;

$$J_{np} = J_d + J_1/u_1^2 + J_2/u_2^2 + \dots J_i/u_i^2.$$

где  $J_d$  – момент инерции якоря электродвигателя;  $J_i$  – приводимый момент инерции;  $u_i$  – передаточное отношение от электродвигателя до детали с моментом инерции

$$J_i = GD^2/(4g),$$

где  $GD^2$  – маховой момент.

Время разгона машины с пружинной муфтой можно определить по приближенной формуле

$$t = \frac{GD_{вед}^2 n_0}{375T_d} + \frac{GD^2 n}{375(T_{тр} - T_c)},$$

где  $GD_{вед}^2$  – маховой момент электродвигателя и ведущей части муфты;  $GD^2$  – суммарный момент всей системы, приведенной к валу муфты;  $T_d$  – момент электродвигателя.

Требуемый момент муфты

$$T_{тм} = \frac{GD^2 n T_d}{375t T_d - GD_{вед}^2 n_0} + T_c.$$

Конструктивное решение колодочных муфт без пружин, показано в двух исполнениях: муфта встроенная в шкив плоскоременной передачи (рис. 9.29, а) и муфта, встроенная в шкив клиноременной передачи (рис. 9.29, б), а их основные параметры даны в табл. 9.29.

Муфта состоит из ведущей полумуфты 1, выполненной в форме втулки с радиальными ребрами, колодок 2 с фрикционными накладками и ведомой полумуфты 4, установленной на опорах качения и выполненной в форме шкива ременной передачи. По мере разгона ведущей полумуфты колодки под действием центробежных сил смещаются в радиальном направлении и прижимаются к рабочей поверхности ведомой полумуфты, создавая силу трения, необходимую для вращения ведомой полумуфты. Крышка 3 предохраняет колодки от осевых смещений. Конструкция муфты позволяет замену колодок без ее полного демонтажа, для этого достаточно снять крышку 3.

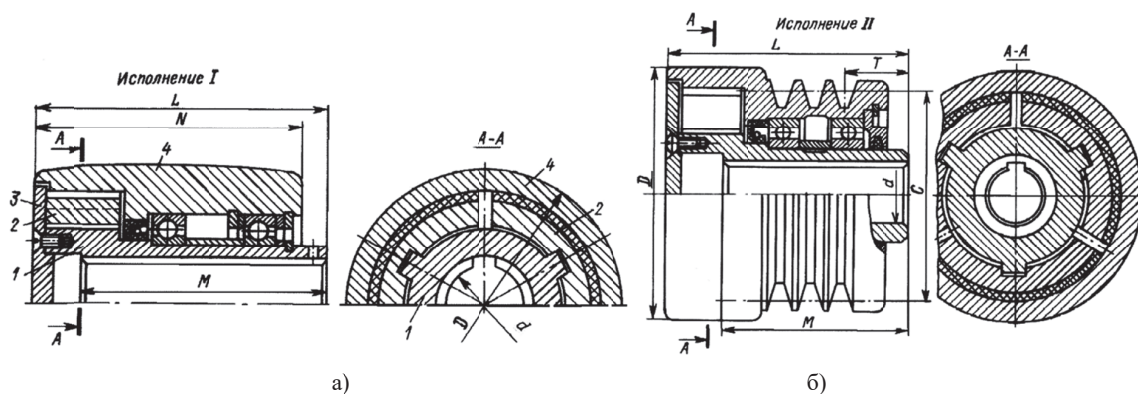


Рис. 9.29. Встроенная в шкив муфта с колодками

Основные технические параметры колодочных муфт

| Q*<br>ккал<br>град | Мощность (кВт) при $n$ , мин <sup>-1</sup> |       |       |               |       |       | D   | d   | L   | M   | N   | D   | d   | L   | M   | N   | T    |
|--------------------|--|-------|-------|---------------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
|                    | Исполнение I                               |       |       | Исполнение II |       |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |
|                    | 1000                                       | 1500  | 3000  | 1000          | 1500  | 3000  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |
| 6,55               | –  | 0,150 | 1,140 | –             | 0,150 | 1,140 | 98  | 20  | 70  | 68  | 68  | 96  | 89  | 20  | 78  | 68  | 19,0 |
| 10,20              | 0,170                                      | 0,574 | –     | 0,170         | 0,544 | –     | 98  | 20  | 93  | 75  | S3  | 96  | 89  | 20  | 93  | 75  | 19,0 |
| 8,00               | 0,257                                      | 0,882 | –     | 0,257         | 0,882 | –     | 118 | 27  | 92  | 82  | 116 | 109 | 27  | 27  | 92  | 82  | 19,0 |
| 12,45              | 0,522                                      | 1,765 | –     | 0,522         | 1,765 | –     | 118 | 27  | 107 | 90  | 97  | 116 | 109 | 27  | 107 | 90  | 19,0 |
| 12,00              | 0,158                                      | 0,536 | 4,338 | 0,158         | 0,536 | –     | 125 | 30  | 95  | 85  | 85  | 125 | 106 | 30  | 88  | 78  | 24,5 |
| 12,00              | 0,221                                      | 0,735 | 5,956 | 0,221         | 0,735 | –     | 125 | 30  | 100 | 90  | 90  | 125 | 106 | 30  | 88  | 78  | 24,5 |
| 22,60              | 0,809                                      | 2,794 | –     | 0,809         | –     | –     | 125 | 30  | 127 | 92  | 117 | 125 | 106 | 30  | 115 | 80  | 24,5 |
| 30,80              | 0,522                                      | 1,765 | –     | 0,522         | 1,765 | –     | 170 | 50  | 135 | 122 | 120 | 170 | 150 | 50  | 111 | 98  | 32,5 |
| 35,70              | 0,676                                      | 2,280 | –     | 0,676         | 2,280 | –     | 170 | 50  | 135 | 122 | 120 | 170 | 150 | 50  | 117 | 104 | 32,5 |
| 40,50              | 1,728                                      | –     | –     | 1,728         | –     | –     | 170 | 50  | 135 | 122 | 120 | 170 | 150 | 50  | 123 | 110 | 32,5 |
| 52,50              | 2,426                                      | –     | –     | 2,426         | –     | –     | 170 | 50  | 152 | 125 | 137 | 170 | 150 | 50  | 138 | 110 | 32,5 |
| 77,50              | 1,728                                      | 5,735 | –     | 1,728         | 5,735 | –     | 220 | 80  | 165 | 152 | 150 | 220 | 225 | 80  | 146 | 133 | 30,5 |
| 92,50              | 4,706                                      | –     | –     | 4,706         | –     | –     | 220 | 80  | 165 | 152 | 150 | 220 | 225 | 80  | 155 | 142 | 30,5 |
| 151,00             | –  | –     | –     | 9,412         | –     | –     | 220 | 80  | 175 | 160 | 160 | 220 | 225 | 80  | 207 | 160 | 30,5 |
| 102,50             | 10,662                                     | –     | –     | 10,622        | –     | –     | 240 | 90  | 235 | 200 | 220 | 240 | 315 | 90  | 179 | 160 | 45,5 |
| 123,00             | 14,706                                     | –     | –     | 14,706        | –     | –     | 240 | 90  | 235 | 200 | 220 | 240 | 315 | 90  | 179 | 160 | 45,5 |
| 115,00             | 23,162                                     | –     | –     | 23,162        | –     | –     | 290 | 110 | 305 | 285 | 290 | 290 | 450 | 110 | 218 | 200 | 46,0 |
| 143,00             | 33,088                                     | –     | –     | 33,088        | –     | –     | 290 | 110 | 305 | 280 | 290 | 290 | 450 | 110 | 233 | 215 | 48,0 |
| 178,00             | –  | –     | –     | 45,588        | –     | –     | 290 | 110 | 305 | 265 | 290 | 290 | 450 | 110 | 252 | 220 | 48,0 |
| 332,00             | –  | –     | –     | –             | –     | –     | 290 | 110 | 305 | 220 | 290 | 290 | 450 | 110 | 335 | 220 | 48,0 |

Примечание. \* Q – теплоемкость муфты при однократном пуске в холодном состоянии.

#### 9.7.4. Муфты с наполнителем

Муфты с наполнителем выполняют с внутренним ведущим ротором (рис. 9.30, а и б) или с наружным ведущим кожухом (рис. 9.30, в).

В качестве наполнителей применяют стальной, смешанный с графитом порошок, иногда с добавкой масла. Муфты с такими наполнителями называются порошковыми. В шариковых муфтах наполнителем является стальная дробь, в роликовых – цилиндрические ролики. При вращении муфты под действием центробежных сил наполнитель отбрасывается к периферии корпуса и соединяет его с ведущим ротором или диском.

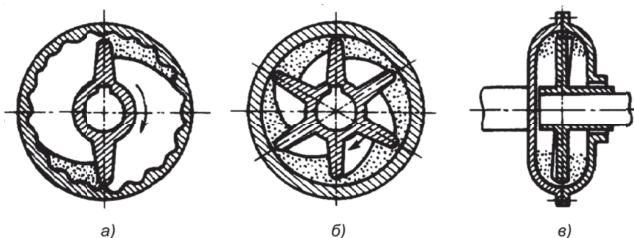


Рис. 9.30. Схемы центробежных муфт со свободным твердым наполнителем

Центробежные муфты дают возможность ограничивать пусковой момент асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором, который в приводах без центробежных муфт в несколько раз превышает момент, передаваемый при установившемся режиме работы. Они предохраняют приводные механизмы от больших инерционных нагрузок при разгоне и резком торможении.

В современном машиностроении применяют конструкции центробежных муфт, которые служат для разгона механизмов с большими маховыми массами при двигателе с малым пусковым моментом, для повышения плавности пуска, для предотвращения разноса машины и т. п. Размеры муфт принимают конструктивно. Рабочие поверхности трения грузов проверяют на износостойкость аналогично фрикционным муфтам.

Расчеты центробежных муфт со свободным твердым наполнителем базируются в основном на эмпирических данных, полученных производителем в процессе производства и испытания опытных образцов.

#### 9.8. МУФТЫ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫЕ

Для предохранения приводов, деталей механических передач от поломок в случае перегрузки при непредвиденной остановке машины в кинематической схеме предусматривают установку муфт, автоматически размыкающих передачу при достижении вращающим моментом предельного значения  $T_{max} = kT_p$ ; здесь  $k$  – коэффициент запаса, вводимый в расчет для того, чтобы муфта не срабатывала при перегрузках, возникающих, в частности, в период пуска. Принимают часто  $k = 1,25 \dots 1,50$ . При необходимости более точного определения  $k$  следует учитывать оптимальную продолжительность срабатывания, особенности технологического процесса, для которого проектируются привод, и условия эксплуатации. Однако всегда необходимо соблюдать основные требования: быстродействие муфты, четкость ее срабатывания. С этой целью следовало бы располагать муфту на том участке кинематической цепи, который порождает перегрузки; однако это не всегда возможно, так как габариты муфты, устанавливаемой в зоне низких частот вращения, оказываются зачастую непомерно боль-

шими. Поэтому в реальных условиях нередко приходится располагать предохранительную муфту между электродвигателем и редуктором. Из общего весьма большого количества разнообразных типов предохранительных муфт здесь рассматриваются лишь некоторые конструкции муфт, применяемых в приводах общего назначения. К ним относятся муфты с разрушающимися элементами, муфты с контактирующими элементами (пружинные кулачковые и шариковые), фрикционные.

### 9.8.1. МУФТЫ СО СРЕЗНЫМ ШТИФТОМ

Муфты со срезным штифтом – наиболее простые и надежные (рис. 9.31).

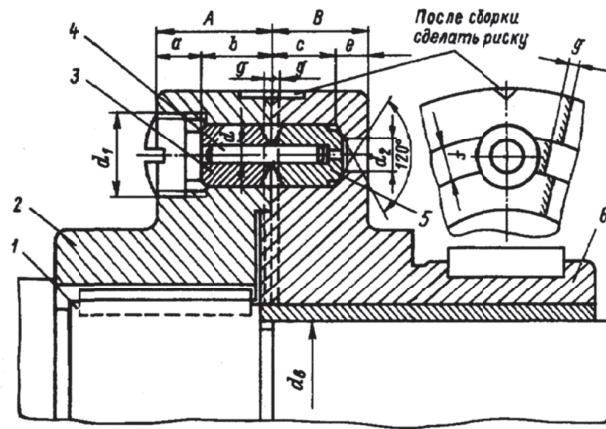


Рис. 9.31. Муфта предохранительная с разрушающимися элементами штифтов

На рис. 9.31 (табл. 9.29) представлены конструкция и основные размеры места расположения предохранительного элемента муфты со срезным штифтом. Обе полумуфты расположены на валу 1. Полумуфта 2 соединена с валом шпонкой, полумуфта 6 сидит на нем свободно, соединяясь шпонкой с деталью, расположенной на ее ступице. Полумуфты соединены цилиндрическим штифтом 4, расположенным во втулках 3 и 5, изготовленных из стали 40Х с последующей термообработкой до твердости 50–60 HRC. Во избежание повреждения торцов полумуфт заусенцем срезанного штифта на них предусмотрены кольцевые канавки шириной f и глубиной g. Для облегчения замены штифта на наружную поверхность полумуфт наносят риски, при совмещении которых оси отверстий втулок 3 и 5 совпадают. Вместо гладких штифтов могут применяться штифты с проточкой. Как показал опыт, они имеют более стабильные результаты и более удобны при замене.

Таблица 9.29

Параметры разрушающих элементов муфты, мм

| Срезающая сила (минимальная), Н | d                    | d <sub>1</sub> | d <sub>2</sub> | d <sub>в</sub><br>H7 | A  | B  | a  | b  | c  | e  | L  | g   |
|---------------------------------|----------------------|----------------|----------------|----------------------|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| 690<br>1 275                    | 1,5<br>2,0           | M16            | 5              | 10                   | 22 | 16 | 10 | 12 | 11 | 5  | 8  | 1   |
| 2 850<br>5 200<br>8 100         | 3,0<br>4,0<br>5,0    | M20            | 8              | 15                   | 30 | 25 | 12 | 18 | 17 | 8  | 10 | 1,5 |
| 11 770<br>20 600<br>32 360      | 6,0<br>8,0<br>–      | M30            | 12             | 25                   | 50 | 45 | 22 | 28 | 26 | 19 | 16 | 2   |
| 55 000<br>83 400<br>130 000     | 13,0<br>16,0<br>20,0 | M48            | 18             | 40                   | 75 | 64 | 33 | 42 | 39 | 25 | 28 | 3   |

Штифты (гладкие или с проточкой) должны срабатывать так быстро, чтобы обеспечивать остановку механизма без поломок. Обычно штифты изготавливают из сталей 45, 50 с термообработкой для хрупкости. Вязкая сталь недопустима. Предельный момент, при котором штифт должен срезаться,

$$T_{\max} = \frac{\pi d^2}{4} R[\tau]_{cp} z,$$

где d – диаметр штифта в опасном сечении;  
 R – радиус окружности, на которой расположены оси штифтов;  
 $[\tau]_{cp} \approx 0,7\sigma_B$  – предел прочности на срез;  
 z – число штифтов (не более 2).  
 Размеры штифтов, мм, можно выбирать из ряда в табл. 9.31.

Таблица 9.31

| Размеры штифтов, (мм)                      |              |                  |
|--|--------------|------------------|
| Штифт d × L                                | 1,6×18; 2×18 | 3×30; 4×30; 5×30 |
| Наружный диаметр втулки 3, D <sub>вт</sub> | 10           | 15               |
|  |              | 25               |

Выбрав диаметр штифта по табл. 9.31 и определив из конструктивных соображений  $R$ , проверяют напряжение среза:

$$\tau_{\text{ср}} = T_{\text{max}} / \frac{\pi d^2}{4} R z,$$

если оно отличается от  $[\tau]_{\text{ср}}$ , то вносят соответствующие коррективы, варьируя значения  $d$  и  $R$  так, чтобы достичь совпадения  $\tau_{\text{ср}}$  и  $[\tau]_{\text{ср}}$ .

Муфта со срезным штифтом неудобна в приводах с резкими колебаниями нагрузки, так как она часто срывается, после чего надо заменять штифты; такие муфты предпочтительно устанавливать в передачах с примерно постоянной нагрузкой, где они могут выполнять функции аварийного звена.

Параметры муфты с разрушающимися элементами приведены на рис. 9.32 и в табл. 9.32.

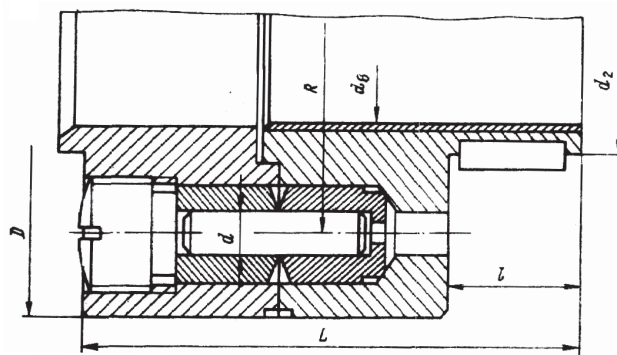


Рис. 9.32. Параметры муфты с разрушающимися элементами

Таблица 9.32

Основные технические параметры муфты с разрушающимися элементами

| $T$ ,<br>Н·м | Срезающая сила,<br>Н | $d_s$ | $d$  | $d_2$ | $D$ | $R$  | $L$ | $l$ |
|--------------|----------------------|-------|------|-------|-----|------|-----|-----|
| 30           | 690                  | 25    | 1,5  |       |     |      |     |     |
| 30           | 690                  | 28    | 1,5  | 45    | 100 | 35,0 | 70  | 25  |
| 50           | 1275                 | 28    | 2,0  |       |     |      |     |     |
| 50           | 1275                 | 30    | 2,0  |       |     |      |     |     |
| 155          | 2 850                | 35    | 3,0  |       |     |      |     |     |
| 155          | 2 850                | 40    | 3,0  |       |     |      |     |     |
| 270          | 5 200                | 40    | 4,0  | 60    | 125 | 45,0 | 100 | 30  |
| 270          | 5 200                | 45    | 4,0  |       |     |      |     |     |
| 430          | 8 100                | 45    | 5,0  |       |     |      |     |     |
| 825          | 11 770               | 50    | 6,0  |       |     |      |     |     |
| 825          | 11 770               | 55    | 6,0  |       |     |      |     |     |
| 1300         | 20 600               | 55    | 8,0  | 75    | 160 | 57,5 | 140 | 35  |
| 1300         | 20 600               | 60    | 8,0  |       |     |      |     |     |
| 2050         | 32 360               | 60    | 10,0 |       |     |      |     |     |

## 9.8.2. МУФТЫ КУЛАЧКОВЫЕ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫЕ

Муфты кулачковые предохранительные (рис. 9.33). Вращающий момент передается кулачками трапецидального профиля, прижимаемыми друг к другу одной центральной пружиной или несколькими, расположенными по окружности. Пружины устанавливают с предварительным сжатием с таким расчетом, чтобы усилие, развиваемое ими, было достаточным для передачи номинального вращающего момента. При увеличении момента до предельного значения  $T_{\text{max}}$  осевые составляющие усилие, действующих на кулачки, сжимают пружины и муфта срывается, предохраняя привод от опасных перегрузок.

На рис. 9.33, а показана муфта для соединения двух валов, которые должны быть точно центрированы относительно друг друга. Профиль кулачков показан на рис. 9.33, б и в.

Материал колец, на которых фрезеруются кулачки, – Сталь 20Х цементруемая и закаленная до твердости рабочих поверхностей 56...62 HRC или сталь 40Х (рис. 9.33) с той же твердостью рабочих поверхностей. Кольца напрессовывают на посадочные места полумуфт и в случае необходимости фиксируют штифтами от проворота. Кулачки выполняют с плоской или винтовой рабочей поверхностью, в последнем случае достигают более полное включение муфты после срабатывания.



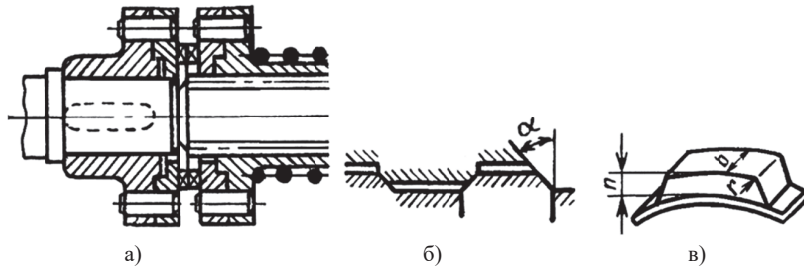


Рис. 9.33. Кулачковая предохранительная муфта:  
а – конструкция; б и в – профиль кулачков

Соотношение размеров элементов муфт: наружный диаметр кулачков  $D_H \geq 2d$ , где  $d$  – диаметр вала (для шлицевого соединения – наружный диаметр вала); ширина кулачков (размер в радиальном направлении)  $b \approx (0,12 \dots 0,15) D_H$ ; средний диаметр кулачков  $D_c = D_H - b$ ; высота кулачков  $h \approx (0,5 \dots 0,6)b$ ; наружный диаметр подвижной втулки  $D_{em} \approx (1,5 \dots 1,8)d$ ; ее длина  $L \approx (0,8 \dots 1,8)d$ ; число кулачков  $z = 3 \dots 15$ .

Угол профиля  $\alpha$  принимают 30, 45 или 60°. Чем меньше угол, тем муфта менее чувствительна к изменению коэффициента трения на кулачках и на шлицах подвижной полумуфты. Без смазки муфта с углом  $\alpha = 30^\circ$  не выключается из-за самоторможения. Поэтому кулачковые муфты, работающие в условиях отсутствия стабильного смазывания кулачков и шлицев, выполняют с углом  $\alpha = 60^\circ$ . Следует учитывать, что при полном отсутствии смазки момент выключения муфты возрастает примерно в 2 раза. При гарантированных условиях смазки муфты применяют  $\alpha = 45^\circ$ .

В переходных процессах при колебаниях величины передаваемого момента муфта может периодически срабатывать до тех пор, пока не установится стабильный режим работы, на который отрегулирована муфта. Если при таких колебаниях возникают динамические нагрузки, превышающие предусмотренную величину, то работу механизма нужно остановить и устранить источник нестабильной работы механизма. Для их ограничения рекомендуют размещать предохранительную муфту на тихоходном валу при частоте вращения не более 300 об/мин.

В зоне соприкосновения кулачков при передаче окружного усилия  $F_t$  возникает сила нормального давления  $F_n = F_t / \cos \alpha$  и осевая сила  $F_a$ . Во включенном состоянии при передаче номинального момента, когда осевые перемещения нет, пружина должна создавать усилие, уравнивающее осевую составляющую силу

$$F_{a1} = F_t \operatorname{tg} \alpha,$$

где  $F_t = 2T_{ном}/D_c$ ; при возрастании момента до  $T_{max}$  окружная сила увеличится до  $F_{t \max} = 2 T_{max}/D_c$ , при этом муфта должна срабатывать, т. е. подвижная втулка должна сместиться от первоначального положения на высоту кулачка  $h$ . Усилие, действующее на пружину при выключении, определяют с учетом трения кулачков при их относительном движении и трения втулки по валу:

$$F_{a2} = F_{\max} \left[ \operatorname{tg}(\alpha - \rho) - f \frac{D_c}{d} \right],$$

где  $\rho \approx 2 \dots 5^\circ$  – угол трения;  $f$  – коэффициент трения при скольжении подвижной втулки по валу;  $f \approx 0,05 \dots 0,10$ , меньшее значение относится к хорошо смазываемым муфтам, испытывающим переменную нагрузку.

Пружины устанавливают в муфту с предварительным сжатием на величину  $\lambda_1$ , достаточную для создания усилия  $F_{a1}$ , удерживающего муфту во включенном состоянии:

$$\lambda_1 = \frac{8F_{a1}D_{np}^3 n}{Gd_{np}^4},$$

где  $D_{np}$  – средний диаметр пружины;  $n$  – число рабочих витков;  $G$  – модуль сдвига, принимаемый для стали равным  $G = 8 \cdot 10^4$  Н/мм<sup>2</sup>;  $d_{np}$  – диаметр проволоки.

Под действием усилия  $F_{a2}$  пружина должна дополнительно сжиматься на высоту кулачка  $h$ , полная осадка при этом

$$\lambda_2 = \lambda_1 + h = \frac{8F_{a2}D_{np}^3 n}{Gd_{np}^4}.$$

При возвращении к номинальному режиму усилие  $F_{a2}$  должно быть достаточным для включения муфты, т. е. должно преодолевать сопротивление  $F_{a3}$ , определяемое с учетом сил трения, препятствующих включению:

$$F_{a3} = F_{ном} \left[ \operatorname{tg}(\alpha + \rho) + f \frac{D_c}{d} \right].$$

Таким образом, для правильного функционирования кулачковой муфты необходимо соблюдение неравенств:  $F_{a2} > F_{a1}$  и  $F_{a2} > F_{a3}$ .



При проектировании муфты принимают отношение

$$\frac{T_{\max}}{T_{\text{ном}}} = k = (1,25 \dots 1,50).$$

На рис. 9.34 приведена кулачковая муфта по ГОСТ 15620-93 и ее параметры в табл. 9.33. На втулке 1 установлены неподвижная 2 и подвижная 3 полу муфты с торцевыми кулачками. Сжатие пружин 4 осуществляется гайкой 6, перемещающей опорный стакан 5 по шлицам. Шпонка и пружинное упорное кольцо соединяют и удерживают деталь на неподвижной полу муфте 2. Предусмотрено два исполнения соединения втулки 1 с валом (I – со шпонкой и II – со шлицами).

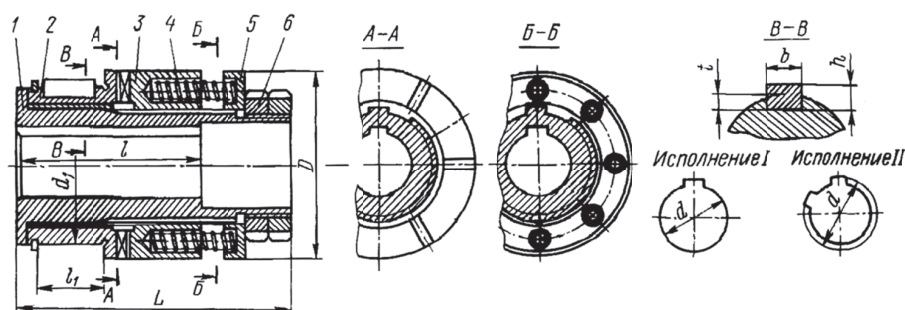


Рис. 9.34. Кулачковая муфта по ГОСТ 15620-93

Таблица 9.33

Основные технические параметры муфты по ГОСТ 15620-93, мм

| $T_{\text{ном}}$<br>Н·м | $d$ (H7)           |          |            | $d_1$<br>(К6) | $D$ | $L$ | $l$        |          | $l_1$ | $b$ | $h$ | $t$ | $n_{\max}$<br>мин <sup>-1</sup> | Масса, кг |
|-------------------------|--------------------|----------|------------|---------------|-----|-----|------------|----------|-------|-----|-----|-----|---------------------------------|-----------|
|                         | Исполнение         |          |            |               |     |     | Исполнение |          |       |     |     |     |                                 |           |
|                         | I                  | II       | III        |               |     |     | I          | II и III |       |     |     |     |                                 |           |
|                         | шпонки             |          | шлицы      |               |     |     | не более   |          |       |     |     |     |                                 |           |
| 4,0                     | 8; 9               | –        | –          | 32            | 36  | 63  | 20         | –        | 12    | 3   | 3   | 1,8 | 1620                            | 0,32      |
|                         | 10                 | –        | –          |               |     |     | 23         | –        |       |     |     |     |                                 |           |
| 6,3                     | 9                  | –        | –          | 38            | 48  |     | 20         | –        | 14    | 4   | 4   | 2,5 | 1260                            | 0,5       |
|                         | 10,11              | –        | –          |               |     |     | 23         | –        |       |     |     |     |                                 |           |
| 10,0                    | 11, 12, 13         | 14       | 12, 13     | 48            | 56  | 75  | 30         | 25       | 16    | 5   | 5   | 3,0 | 1020                            | 0,86      |
| 16,6                    | 12, 14             | 14       | 12, 13     |               |     | 80  | 40         | 28       | 18    |     |     |     |                                 |           |
|                         |                    | 16       | –          | 15            |     |     |            |          |       |     |     |     |                                 |           |
| 25,0                    | 14                 | –        | 13         | 56            | 71  | 85  | 30         | 25       | 21    | 6   | 6   | 3,5 | 780                             | 1,6       |
| 40,0                    | 16, 18, (19)       | 16       | 15, 17     |               |     |     | 105        | 40       | 28    |     |     |     |                                 |           |
|                         |                    | 18, (19) | –          | 17            |     |     |            |          |       |     |     |     |                                 |           |
| 63,0                    | 20, 22             |          | 20, 22     | 65            | 85  | 110 | 50         | 36       | 28    | 8   | 7   | 4,0 | 600                             | 2,5       |
|                         |                    | 25       | –          |               |     |     | 60         | 42       |       |     |     |     |                                 |           |
| 100,0                   | (24)               | –        | –          | 80            | 100 | 140 | 50         | 36       | 32    | 10  | 8   | 6,0 | 480                             | 5,0       |
|                         | 25, 28             | –        | 30         |               |     |     | 60         | 42       |       |     |     |     |                                 |           |
| 160,0                   | (30)               | –        | 30         | 90            | 125 | 160 | 80         | 58       | 36    | 12  | 9   | 5,5 | 300                             | 16,00     |
|                         | 28, (30)           | 28       | 28, 30     |               |     |     | 60         | 42       |       |     |     |     |                                 |           |
| 250,0                   | (32)               | –        | –          |               |     |     | 80         | 58       | 42    |     |     |     |                                 |           |
|                         | 32, 36, (38)       | 32, (38) | 32, 35, 38 | 90            | 140 | 180 | 110        | 82       | 48    | 14  | 9   | 5,5 | 300                             | 16,00     |
| 400,0                   | 40                 | –        | 40         | 105           | 180 | 190 | 80         | 58       | 48    | 14  | 9   | 5,5 | 300                             | 16,00     |
|                         | (38)               | 38       | –          |               |     |     | 110        | 82       |       |     |     |     |                                 |           |
|                         | 40, (42), 4Б, (48) | 42, 48   | 40, 42, 45 |               |     |     |            |          |       |     |     |     |                                 |           |

Примечание. Размеры без скобок являются предпочтительными для применения.

## 9.9. ХРАПОВЫЕ МЕХАНИЗМЫ

**Геометрические параметры.** Храповое зацепление применяют для преобразования качательного или возвратно-поступательного прямолинейного движения во вращательное движение, которое является прерывистым и может быть реверсивным.

Основными конструктивными элементами храпового зацепления являются храповое колесо и собачка. Зацепление может быть внешним и внутренним. Внешнее зацепление получило наибольшее распространение.

Профиль зубьев и основные размерами колес и собачки наружного храпового зацепления (табл. 9.34, рис. 9.35).

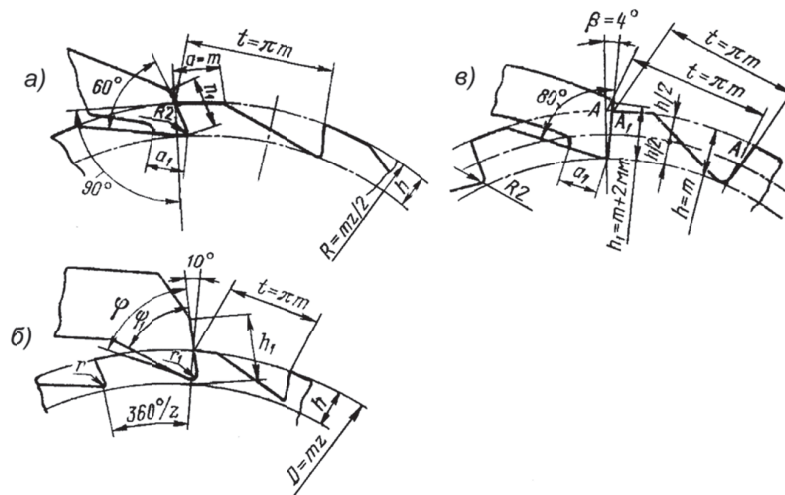


Рис. 9.35. Наружное храповое зацепление

Таблица 9.34

Геометрические размеры наружного храпового зацепления, (мм)

| Модуль, m      | 0,6                        | 0,8   | 1,0  | 1,25  | 1,5  | 2    | 2,5   |
|----------------|----------------------------|-------|------|-------|------|------|-------|
| t – шаг        | 1,88                       | 2,51  | 3,14 | 3,92  | 4,71 | 6,28 | 7,85  |
| h              | 0,8                        | 1,0   | 1,2  | 1,5   | 1,8  | 2,0  | 2,5   |
| φ              | 55°                        | 55°   | 55°  | 60°   | 60°  | 60°  | 60°   |
| φ <sub>1</sub> | 50°                        | 50°   | 50°  | 55°   | 55°  | 55°  | 55°   |
| h <sub>1</sub> | 3                          | 3     | 3    | 4     | 4    | 5    | 5     |
| r              | 0,3                        | 0,3   | 0,3  | 0,5   | 0,5  | 0,5  | 0,5   |
| r <sub>1</sub> | 0,4                        | 0,4   | 0,4  | 0,8   | 0,8  | 0,8  | 0,8   |
| Число зубьев Z | Диаметры храповых колес, D |       |      |       |      |      |       |
| 20             |                            |       |      |       |      | 40   | 50    |
| 24             |                            |       |      |       | 36   | 48   | 60    |
| 30             |                            |       |      | 37,5  | 45   | 60   | 75    |
| 36             |                            |       | 36   | 45    | 54   | 72   | 90    |
| 45             |                            | 36    | 45   | 56,2  | 67,5 | 90   | 112,5 |
| 50             | 30                         | 40    | 50   | 62,5  | 75   | 100  | 125   |
| 60             | 36                         | 48    | 60   | 75    | 90   | 120  | 150   |
| 72             | 43,2                       | 57,6  | 72   | 90    | 108  | 144  | 180   |
| 90             | 54                         | 72    | 90   | 112,5 | 135  | 180  |       |
| 100            | 60                         | 80    | 100  | 125   | 150  |      |       |
| 120            | 72                         | 96    | 120  | 150   | 180  |      |       |
| 144            | 86                         | 115,2 | 144  | 180   |      |      |       |
| 180            | 108                        | 144   | 180  |       |      |      |       |
| 200            | 120                        | 160   | 200  |       |      |      |       |

Примечание. Рекомендуемый материал и термообработка для колес – сталь 40X, зубья h = 1,5÷2; 50...57HRC; собачка – Сталь 20X; головка собачки h = 0,9÷1,1; 59...63HRC. Шероховатость взаимодействующих поверхностей зубьев колеса и головки собачки Ra ≤ 0,80 мкм. Предельное отклонение по шагу между соседними зубьями не более 1,0 мм. Накопленная ошибка по шагу на угле 180° не более 0,2 мм.

Таблица 9.35

Геометрические размеры храповиков, (мм)

| Модуль, m | Храповик |      | Собачка        |                | Модуль, m | Храповик |      | Собачка        |                |
|-----------|----------|------|----------------|----------------|-----------|----------|------|----------------|----------------|
|           | t        | h    | h <sub>1</sub> | a <sub>1</sub> |           | t        | h    | h <sub>1</sub> | a <sub>1</sub> |
| 6         | 18,85    | 4,45 | 6              | 4              | 18        | 56,55    | 13,5 | 16             | 12             |
| 8         | 26,13    | 6    | 8              | 4              | 20        | 62,83    | 15   | 18             | 12             |
| 10        | 31,42    | 7,5  | 10             | 6              | 22        | 69,12    | 16,5 | 20             | 14             |
| 12        | 37,70    | 9    | 12             | 6              | 24        | 75,40    | 18   | 20             | 14             |
| 14        | 43,98    | 10,5 | 14             | 8              | 26        | 81,68    | 19,5 | 22             | 14             |
| 16        | 50,27    | 12   | 14             | 8              | 30        | 94,45    | 22,5 | 25             | 16             |

Преимуществом передачи следует считать простоту конструкции и надежность действия. К недостаткам относятся периодичность в передаче движения, односторонность действия и жесткость, вызывающая значительные динамические нагрузки, например при необходимости остановки механизма на ходу.

Основной геометрической характеристикой является модуль зацепления

$$m = D/z,$$

где  $D$  – наружный диаметр;  $z$  – число зубьев храповика (рис. 9.35, *a*).

Шаг зацепления

$$t = \pi m.$$

Угол поворота храповика на один зуб

$$\alpha = 360^\circ/z.$$

Коэффициент

$$\Psi = b/m,$$

где  $b$  – ширина зуба храповика и собачки.

Возможное число зубьев в передаче может быть в пределах  $z = 8 \div 43$ , однако предпочтительное число  $z = 12 \div 20$ .

Размеры зубьев и рабочей части собачки для мелко модульных храповиков при наружном зацеплении (рис. 9.35, *a*) приведены в табл. 9.34.

Храповики переключения выполняют с зубьями по рис. 9.35, *б*; при этом высоту зуба принимают равной модулю ( $h = m$ ), а размер  $a_1$  выбирают по табл. 9.36.

Таблица 9.36

Значения размера  $a_1$ 

|       |    |    |    |    |    |    |    |
|-------|----|----|----|----|----|----|----|
| $m$   | 20 | 22 | 24 | 26 | 30 | 36 | 42 |
| $a_1$ | 14 | 15 | 16 | 17 | 19 | 21 | 24 |

Профиль зубьев и основные размеры колес и собачки внутреннего храпового зацепления (табл. 9.37, рис. 9.36).

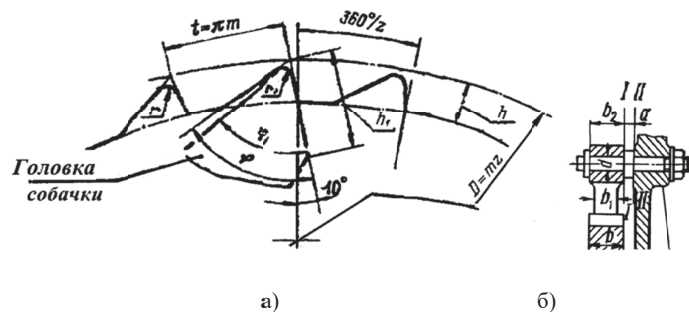


Рис. 9.36. Внутреннее храповое зацепление (а); ось собачки (б)

Геометрические размеры внутреннего храпового зацепления, мм

| Модуль, m         | 0,6                          | 0,8   | 1,0  | 1,25  | 1,5  | 2    | 2,5   |
|-------------------|------------------------------|-------|------|-------|------|------|-------|
| $t$ – шаг         | 1,88                         | 2,51  | 3,14 | 3,92  | 4,71 | 6,28 | 7,85  |
| $H$               | 0,8                          | 1,0   | 1,2  | 1,5   | 1,8  | 2,0  | 2,5   |
| $\Phi$            | 65°                          | 65°   | 65°  | 70°   | 70°  | 70°  | 70°   |
| $\varphi_l$       | 60°                          | 60°   | 60°  | 65°   | 65°  | 65°  | 65°   |
| $h_l$             | 3                            | 3     | 3    | 4     | 4    | 5    | 5     |
| $r$               | 0,3                          | 0,3   | 0,3  | 0,5   | 0,5  | 0,5  | 0,5   |
| $r_l$             | 0,4                          | 0,4   | 0,4  | 0,8   | 0,8  | 0,8  | 0,8   |
| Число зубьев, $Z$ | Диаметры храповых колес, $D$ |       |      |       |      |      |       |
| 24                |                              |       |      |       |      |      | 60    |
| 30                |                              |       |      |       |      | 60   | 75    |
| 36                |                              |       |      |       |      | 72   | 90    |
| 45                |                              |       |      |       | 67,5 | 90   | 112,5 |
| 50                |                              |       |      | 62,5  | 75   | 100  | 125   |
| 60                |                              |       | 60   | 75    | 90   | 120  | 150   |
| 72                |                              |       | 72   | 90    | 108  | 144  | 180   |
| 90                |                              | 72    | 90   | 112,5 | 135  | 180  |       |
| 100               | 60                           | 80    | 100  | 125   | 150  |      |       |
| 120               | 72                           | 96    | 120  | 150   | 180  |      |       |
| 144               | 86                           | 115,2 | 144  | 180   |      |      |       |
| 180               | 108                          | 144   | 180  |       |      |      |       |
| 200               | 120                          | 160   | 200  |       |      |      |       |

*Примечание.* Рекомендуемый материал и термообработка для колес – сталь 40X, зубья  $h = 1,5-2$ ; 50...57HRC; собачка – Сталь 20X; головка собачки  $h = 0,9-1,1$ ; 59...63HRC. Шероховатость взаимодействующих поверхностей зубьев колеса и головки собачки  $Ra \leq 0,80$  мкм. Предельное отклонение по шагу между соседними зубьями не более 1,0 мм. Накопленная ошибка по шагу на угле 180° не более 0,2 мм.

### Расчет на прочность

Если ось собачки лежит на линии, тангенциальной к окружности зубьев, то со стороны собачки на зуб храпового колеса действует сила, равная

$$P = 2k_p M_k / D,$$

где  $k_p$  – коэффициент режима работы:

равномерная –  $k_p = 1,0 - 1,1$ ; неравномерная –  $k_p = 1,1 - 1,3$ ; ударная –  $k_p = 1,3 - 1,7$ .

Эта сила вызывает напряжения изгиба  $\sigma_u$  в основании зуба и давление на торцевую поверхность зуба при наружном зацеплении

$$\sigma_u \approx \frac{10M_k}{z\psi m^3} \leq [\sigma_u],$$

где  $\psi = b/m$  – коэффициент ширины зуба.  
при внутреннем зацеплении

$$\sigma_u \approx \frac{2,5M_k}{z\psi m^3} \leq [\sigma_u].$$

Формула получена из предположения, что высота зуба  $h = 1,5m$ , а высота сечения зуба, проверяемого на изгиб,  $h_u = m$ . Следовательно, при наружном зацеплении

$$m \approx 2 \cdot \sqrt[3]{\frac{k_p M_k}{z\psi [\sigma_u]}}$$

при внутреннем зацеплении

$$m \approx 1,1 \cdot \sqrt[3]{\frac{k_p M_k}{z\psi [\sigma_u]}}$$

Храповой механизм проверяется также на удельное линейное давление  $q$ .

$$\frac{2k_p M_k}{zmb_1} \leq q \cdot$$

Значения  $[\sigma_u]$  и  $q$  выбирают с учетом материала храпового колеса. Храповые колеса и собачки изготавливают из чугуна СЧ 18 и СЧ 15 (для малоответственных конструкций), стального литья 35Л и 45Л, Стали 45, 50, 15Х, 20Х, 12ХНЗ и др. Среднеуглеродистые стали подвергают закалке, а низкоуглеродистые – цементруют.

Рекомендуемые значения  $\psi$ ,  $[\sigma_u]$  и  $q$  приведены в табл. 9.38.

Таблица 9.38

| Материал храпового колеса      | Значения $\psi$ , $[\sigma_u]$ и $q$     |   |   |
|--------------------------------|--|---|---|
|                                | Отношение ширины колеса к модулю, $\psi$ | Допускаемое удельное давление $q$ , МПа | Допускаемое напряжение изгиба, $[\sigma_u]$ МПа |
| Чугунное литье СЧ 18, СЧ 15    | 1,5–6,0                                  | 15                                      | 30  |
| Стальное литье марок 35Л и 45Л | 1,5–4,0                                  | 30                                      | 80  |
| Сталь Ст3                      | 1,0–2,0                                  | 35                                      | 100   |
| Сталь 45 и др.                 | 1,0–2,0                                  | 40                                      | 120   |

Диаметр оси собачки (рис. 9.36, б):

в сечении 1-1

$$d = \sqrt[3]{\frac{P}{0,1[\sigma_u]} \cdot \frac{b_2}{2}}$$

в сечении П-П

$$d = \sqrt[3]{\frac{P}{0,1[\sigma_u]} \left( \frac{b_2}{2} + a \right)}, \text{ где для стали 45 } [\sigma_u] \leq 50 \text{ МПа.}$$

## 9.10. ТОРМОЗА

Тормоз – устройство, назначение которого при выключенном или отключенном приводе удерживать от вращения вал машины или механизма, связанный с рабочим органом машины, или регулировать скорость его движения путем поглощения инерции движущихся масс, с которыми связан рабочий орган.

По принципу действия тормоз – фрикционное устройство. В зависимости от конструкции тормоза называют колодочный, ленточный, конический, дисковый, пластинчатый, ручной, электромагнитный и т.д.

По назначению тормоза могут быть стопорные для удержания вала в неподвижном положении; спускные, которые предназначены для опускания груза или для вращения вала с заданной интенсивностью и комбинированные, обладающие свойствами стопорных и спускных тормозов.

### 9.10.1. ТОРМОЗА КОЛОДОЧНЫЕ

Конструкция тормоза колодочного (рис. 9.37) может быть выполнена рычажно-грузовой.

При замыкании (торможении) к тормозному шкиву 2, жестко скрепленному с приводным валом, прижимаются две колодки 1, которые через рычажную систему 3 соединены с замыкающим грузом 4 (или пружиной).

Размыкание (растормаживание) тормоза производится электромагнитом (длинноходовым и короткоходовым) или гидроразжимателем 5, или другим способом.

Одноколодочные тормоза почти не применяются вследствие вызываемой ими консольной нагрузки, изгибающей вал со шкивом.

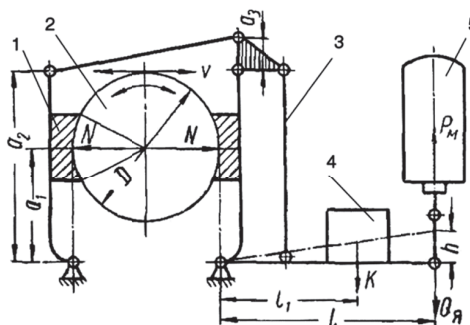


Рис. 9.37. Схема механизма двухколодочного тормоза

Расчетный тормозной момент определяют по зависимости

$$T_T = kT_k,$$

где  $T_T$  – расчетный тормозной момент;  $T_k$  – крутящий момент на валу тормозного шкива;  $k = 1,5 \div 2,5$  – коэффициент запаса торможения (табл. 9.39).

Т а б л и ц а 9.39

| Коэффициент запаса торможения $k$   |      |
|---|------|
| Режим работы и род привода  | $k$  |
| Механизмы с ручным приводом и механизмы с машинным приводом легкого режима работы | 1,5  |
| Механизмы с машинным приводом:  |      |
| среднего режима работы  | 1,75 |
| тяжелого режима работы  | 2,0  |
| весьма тяжелого режима работы   | 2,5  |

Расчетная сила трения между каждой колодкой и тормозным шкивом

$$P = \frac{T_T}{D},$$

где  $P$  – расчетная сила трения;  $D$  – диаметр тормозного шкива.  
Необходимая сила прижатия колодки к тормозному шкиву

$$N = \frac{P}{f},$$

где  $f$  – коэффициент трения (табл. 9.40).

Т а б л и ц а 9.40

| Значения $f$ при работе стопорного и спускного тормозов без смазки |      |
|--|------|
| Наименование трущихся материалов                                   | $f$  |
| Чугун по чугуну  | 0,15 |
| Сталь по чугуну  |      |
| Асбестовая лента типа А по чугуну или стали                        | 0,37 |
| Асбестовая лента типа Б по чугуну или стали                        | 0,35 |
| Лента вальцованная по чугуну или стали                             | 0,42 |
| Дерево по чугуну   | 0,30 |
| Дерево по стали  | 0,25 |
| Бронза по чугуну   | 0,17 |
| Бронза по стали  | 0,16 |
| Бронза по бронзе   | 0,18 |
| Сталь по текстолиту  | 0,15 |
| Сталь по фибре   | 0,17 |

Среднее удельное давление между колодкой и тормозным шкивом

$$q = \frac{N}{F_0} \leq [q],$$

где  $F_0$  – площадь контакта (обкладки) тормозной колодки с тормозным шкивом, мм<sup>2</sup>;  
 $[q]$  – допускаемое удельное давление, МПа (табл. 9.41).

Т а б л и ц а 9.41

| Тип тормоза   | Значения $[q]$ в МПа и $[qv]$ в Н·м/см <sup>2</sup> сек |        |         |        |         |        |
|---|---|--------|---------|--------|---------|--------|
|   | Для стопорных и спускных тормозов                       |        |         |        |         |        |
|   | Материал трущихся поверхностей                          |        |         |        |         |        |
|   | А   |        | Б       |        | В       |        |
|   | $[q]$   | $[qv]$ | $[q]$   | $[qv]$ | $[q]$   | $[qv]$ |
| Стопорный   | 1,2÷2,0   | 250    | 0,6÷0,7 | 250    | 0,6÷0,8 | 250    |
| Спускной  | 1,0÷1,5   | 150    | 0,3÷0,5 | 150    | 0,3÷0,5 | 150    |
| Автоматический:   |   |        |         |        |         |        |
| без смазки  | 0,6÷0,75  | 100    | 0,2÷0,3 | 140    |         |        |
| густая смазка   | 0,2÷0,3   | 100    |         |        |         |        |
| масляная ванна  | 0,1÷0,2   | 120    |         |        |         |        |
| <i>Примечание.</i> А – сталь по стали или чугуну; Б – асбестовая лента по стали или чугуну; В – дерево по стали или чугуну.<br>$[q]$ – допускаемое удельное давление $[qv]$ – проверка тормоза на нагрев. |   |        |         |        |         |        |



Площадь обкладки тормозной колодки

$$F_0 = \pi DB \frac{\beta^\circ}{360^\circ},$$

где  $B$  – ширина обкладки в мм;  $D$  – диаметр тормозного шкива в мм;  $\beta^\circ$  – угол обхвата колодкой тормозного шкива в градусах.

Передаточное отношение системы рычагов

$$u \approx \frac{a_1}{a_2} \cdot \frac{a_3}{l}$$

Необходимое тяговое усилие магнита в  $H$

$$P_m = Nu \frac{1}{\eta},$$

где  $\eta = 0,9 \div 0,95$  – КПД тормозной рычажной системы.

Величина перемещения якоря электромагнита в мм

$$h = \frac{2,2\Delta}{u},$$

где  $\Delta$  – радиальный ход колодки относительно тормозного шкива в мм (табл. 9.42).

Т а б л и ц а 9.42

Рекомендуемые значения радиального хода колодок относительно тормозного шкива, (мм)

| Диаметр тормозного шкива        | 100 | 120–160 | 200–250 | 300–350 | 400–450 | 600–1000 |
|---------------------------------|-----|---------|---------|---------|---------|----------|
| Радиальный ход колодки $\Delta$ | 0,8 | 1,0     | 1,3     | 1,6     | 2,0     | 2,5      |

Вес тормозного груза

$$G_m = (P_m - Q_y) \frac{l}{l_1},$$

где  $Q_y$  – вес якоря электромагнита в  $H$ .

Определение напряжения на изгиб в опасном сечении рычага тормоза в МПа

$$\sigma_u = \alpha \frac{T_u}{W} \leq [\sigma]_u,$$

где  $\alpha$  – динамический коэффициент,  $\alpha = 2,0$ .

Колодочные тормоза с замыкающим грузом (или пружиной) и с большим передаточным числом рычажной системы от длинноходового электромагнита к тормозу, большим количеством шарнирных соединений характеризуются недостаточно жесткой конструкцией рычагов (рис. 9.37). К недостаткам этих тормозов также относится образование больших и трудно регулируемых зазоров (игры) в шарнирах, недолговечность, а также замедленное действие при растормаживании.

Несмотря на отмеченные недостатки колодочные тормоза с замыкающим грузом нашли широкое применение в подъемно-транспортном машиностроении для регулирования скорости спуска груза на тормозе при выключенном электродвигателе привода и др.

**Конструкция тормоза колодочного с короткой кинематической цепью** (рис. 9.38) с замыканием тормоза пружинами и размыканием короткоходовыми электромагнитами, обычно монтируемыми на рычагах тормоза, характеризуется небольшим числом шарнирных соединений и применением широких тормозных шкивов и колодок.

Достоинство этих тормозов – более высокая надежность работы и долговечность, быстрое и плавное торможение.

Результирующая сила основной и вспомогательной пружин определяется зависимостью

$$P_1 = P_0 + P_e = \frac{T_T}{fD\eta} \cdot \frac{l_1}{l},$$

где  $f$  – коэффициент трения;  $\eta = 0,9 \div 0,95$  – КПД тормозной рычажной системы.

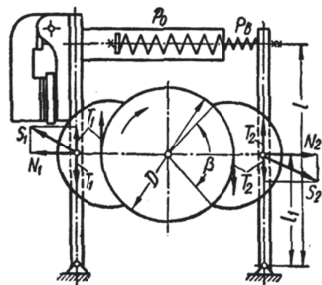


Рис. 9.38. Схема механизма двухколочного тормоза с короткой кинематической цепью

Усилие основной пружины

$$P_0 = P_1 - P_2$$

Усилие вспомогательной пружины принимается в зависимости от габаритов тормоза

$$P_2 = 20 \div 80 \text{ Н.}$$

Нормальное давление колодки на тормозной шкив

$$N = \frac{T_T}{fD}$$

Среднее удельное давление колодки на тормозной шкив

$$q = \frac{N}{F_0} \leq [q],$$

где  $F_0$  – площадь обкладки тормозной колодки;

$$F_0 = \frac{\pi D}{360} B \beta^\circ,$$

где  $B$  – ширина колодки,  $\beta^\circ = 70^\circ$  – угол обхвата тормозного шкива колодкой в градусах;

$[q]$  – допускаемое удельное давление по табл. 9.41.

Наибольший допустимый зазор между колодкой и тормозным шкивом

$$\Delta = \frac{h}{2} \cdot \frac{l_1}{l},$$

где  $\Delta$  – радиальный ход колодки относительно тормозного шкива, мм;  $h$  – величина перемещения якоря электромагнита (табл. 9.42).

Проверку жесткости рычажной системы производят по формуле:

$$\sigma_u = \alpha \frac{T_u}{W} \leq [\sigma]_u,$$

где  $T_u$  – момент силы  $P_1$ , изгибающей рычаг;  $W$  – момент сопротивления сечения рычага;  $\alpha$  – динамический коэффициент; принимают:  $\alpha = 3,5$  – для короткоходовых тормозов;  $\alpha = 1,25$  – для управляемых и электрогидравлических тормозов.

Допускаемое в рычагах напряжение изгиба

$$[\sigma]_u \leq 0,4 \sigma_t,$$

где  $\sigma_t$  – предел текучести металла.

Запас прочности для осей рычагов принимают  $\geq 1,5$ .

Удельное давление на опорных поверхностях осей рычагов  $\leq 3,0$  МПа.

Проверка тормоза на нагрев

$$qv = \frac{N_1 n}{1500 B} = [qv],$$

где  $v = \frac{\pi D n}{1000 \cdot 60}$  – окружная скорость, м/с;  $[qv]$  – в табл. 9.41.

В табл. 9.44 и 9.45 приведены основные технические параметры конструкции автоматически действующих стопорных тормозов замкнутого типа, предназначенных для крановых механизмов с электрическим приводом. Эти тормоза рассчитаны на работу в вертикальном положении в нормальных условиях работы и не могут быть применены для работы в пожаро- и взрывоопасной среде или в условиях тропического климата.

Тормоза могут быть переменного тока типа ТКТ или постоянного тока типа ТКП с тормозными шкивами следующего ряда диаметров, которые включают в типоразмер модели: 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700 и 800 мм, причем тормоза типа ТКТ изготавливают только для шкивов диаметром до 300 мм.

Тормоза типа ТКТГ с электрогидравлическим толкателем изготавливают для тормозных шкивов диаметров 200, 300, 400, 500, 600, 700 и 800 мм и являются предпочтительными.

Электрогидравлический толкатель представляет собой электрогидравлический механизм, предназначенный для замыкания пружинного тормоза. В едином конструктивном блоке тормоза смонтирован гидравлический цилиндр с поршнем и штоком, работающий от гидронасоса; последний приводится от электродвигателя, включаемого автоматически при включении двигателя основного механизма.

Электропривод крановых и вспомогательных механизмов работает при повторно-кратковременном режиме.

Повторно-кратковременный режим работы кранового электрооборудования характеризуется относительной продолжительностью включения, выраженной в процентах, а именно:

$$ПВ = \frac{\text{продолжительность..включения}}{\text{продолжительность..включения} + \text{пауза}} \times 100\%$$

При определении мощности электрооборудования в повторно-кратковременных режимах продолжительность рабочего цикла (продолжительность включения + пауза) принята равной 10 мин.

Основным номинальным режимом является повторно-кратковременный режим с относительной продолжительностью включения ПВ=25%. В технических характеристиках могут быть приведены также технические данные для режимов работы ПВ=15, 40, 60%, для длительного режима работы (ПВ=100%) и для кратковременного режима работы продолжительностью 60 мин.

В качестве справки в табл.9.43 приведены основные технические параметры тормозов ТКП, ТКТ и ТКТГ.

Таблица 9.43

Основные технические параметры тормозов

| Тип тормоза                                      | Типоразмер тормоза | Тормозной момент наименьший, Н·м |     |     | Отход колодок, мм | Время торможения, с | Время расторможения, с |
|--|--------------------|----------------------------------|-----|-----|-------------------|---------------------|------------------------|
|  |                    | ПВ                               | ПВ  | ПВ  |                   |                     |                        |
|  |                    | 100%                             | 40% | 25% |                   |                     |                        |
| С короткоходным электромагнитом постоянного тока | ТКП 100            | 8                                | 16  | 20  | 0,4÷0,6           |                     |                        |
|  | ТКП 200/100        | 16                               | 32  | 40  |                   |                     |                        |
|  | ТКП 200            | 54                               | 130 | 160 | 0,5÷0,8           |                     |                        |
|  | ТКП 300/200        | 80                               | 200 | 240 |                   |                     |                        |
|  | ТКП 300            | 170                              | 420 | 500 | 0,7÷1,0           |                     |                        |
|  | ТКП 400            | 1500                             |     |     | 1,5               |                     |                        |
|  | ТКП 500            | 2500                             |     |     | 1,75              |                     |                        |
|  | ТКП 600            | 5000                             |     |     | 2,0               |                     |                        |
|  | ТКП 700            | 8000                             |     |     | 2,25              |                     |                        |
| ТКП 800  | 12500              |                                  |     | 2,5 |                   |                     |                        |
| С короткоходным электромагнитом переменного тока | ТКТ 100            | 11                               | 20  |     | 0,4÷0,6           |                     |                        |
|  | ТКТ 200/100        | 22                               | 40  |     |                   |                     |                        |
|  | ТКТ 200            | 80                               | 160 |     | 0,5÷0,8           |                     |                        |
|  | ТКТ 300/200        | 120                              | 240 |     |                   |                     |                        |
|  | ТКТ 300            | 200                              | 500 |     | 0,7÷1,0           |                     |                        |
| С гидротолкателем переменного тока               | ТКТГ 200           | 300                              |     |     | 1,0               | 0,3                 | 0,2                    |
|  | ТКТГ 300           | 800                              |     |     | 1,5               | 0,35                | 0,25                   |
|  | ТКТГ 400           | 1500                             |     |     |                   | 0,4                 | 0,3                    |
|  | ТКТГ 500           | 2500                             |     |     | 1,63              | 0,5                 | 0,4                    |
|  | ТКТГ 600           | 5000                             |     |     | 1,75              | 0,6                 | 0,5                    |
|  | ТКТГ 700           | 8000                             |     |     | 1,8               | 0,7                 | 0,6                    |
|  | ТКТГ 800           | 12500                            |     |     | 2,1               | 0,8                 | 0,7                    |

Тормоза колодочные переменного тока типа ТКТ  
для тормозных шкивов Ø 100-300 мм. Габаритные и установочные размеры (мм)

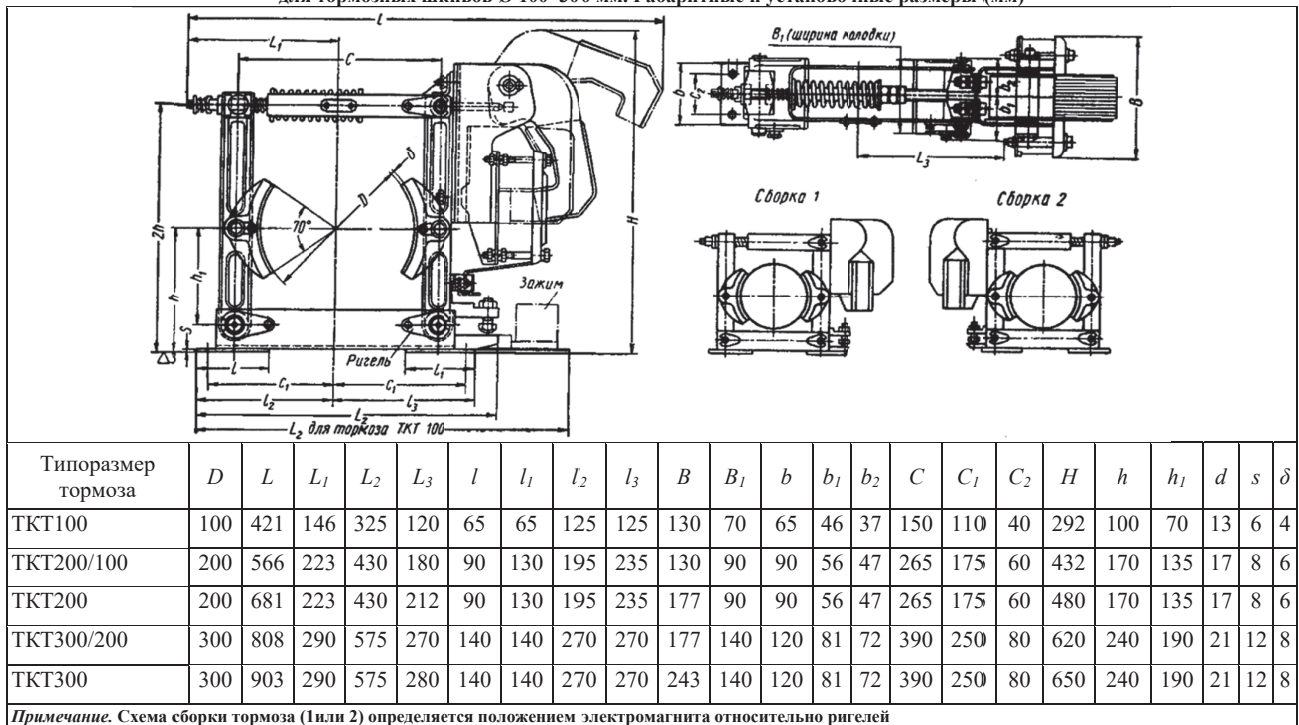
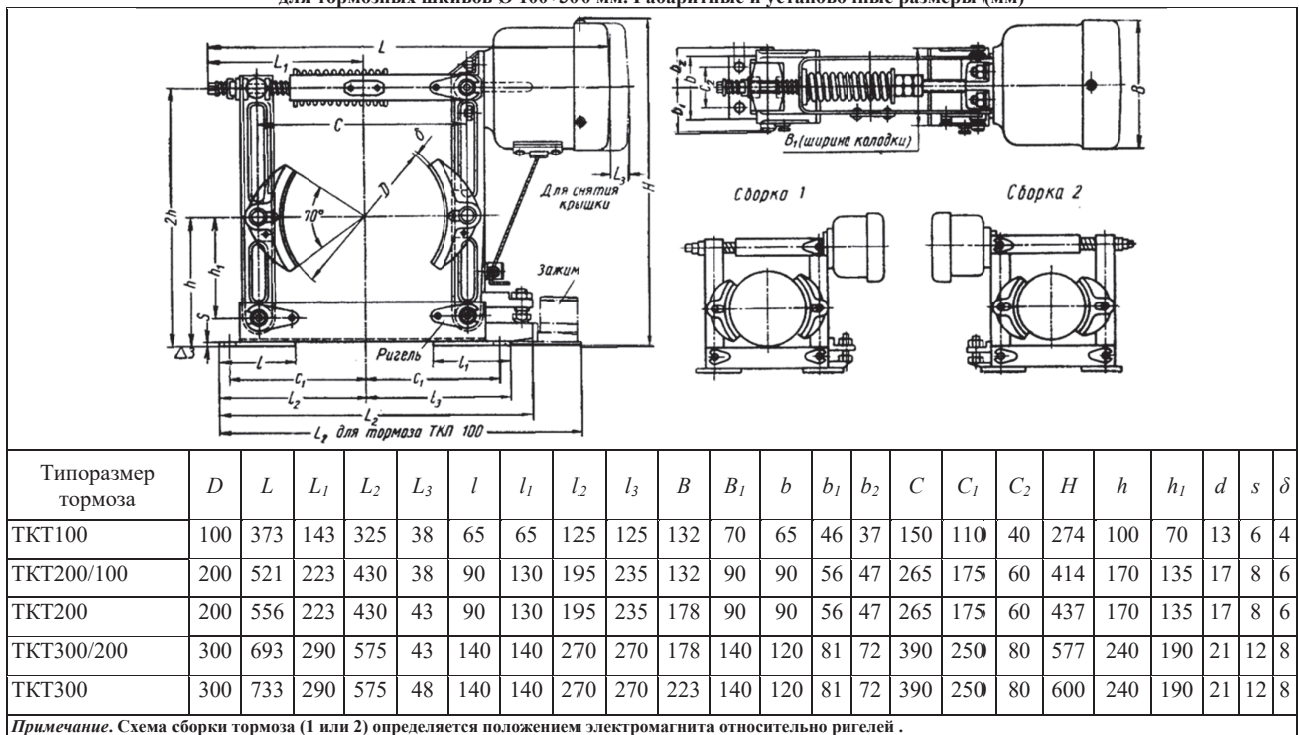


Таблица 9.45

Тормоза колодочные постоянного тока типа ТКП  
для тормозных шкивов Ø 100-300 мм. Габаритные и установочные размеры (мм)



9.10.2. ТОРМОЗА ЛЕНТОЧНЫЕ

Ленточный тормоз (рис. 9.39) состоит из ленты 2, которая одним концом крепится к шарниру, затем охватывает тормозной шкив 1 и вторым концом крепится к рычагу 3 с грузом 5. Торможение выполняется грузом 5, который связан с рычагом 3, при опускании которого лента 2 прижимается к ободу шкива 1. Растормаживание производится электромагнитом 4, который преодолевает силы тяжести рычага, якоря электромагнита и груза и ослабляет натяжение ленты тормоза.

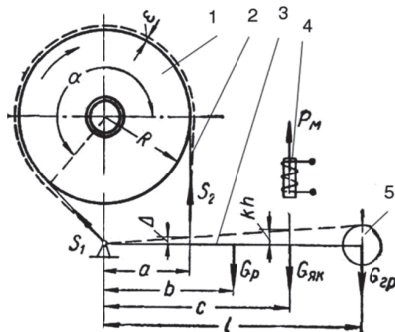


Рис. 9.39. Схема ленточного тормоза

Ленточные тормоза в отличие от колодочных при торможении вызывают добавочные консольные усилия, направленные на изгибающие деформации вала, на котором закреплен тормозной шкив  $I$ .

Окружное расчетное усилие на шкиве ленточного тормоза определяют по заданному тормозному моменту:

$$P = \frac{2T_T}{D}, \text{ Н.}$$

Рекомендуемые величины тормозных моментов для ленточных тормозов приведены в табл. 9.46

Таблица 9.46

Рекомендуемые величины тормозных моментов для ленточных тормозов

| Расчетный тормозной момент   | кН·м | 0,69÷0,84 | 1,37÷1,57 | 1,77÷2,06 | 2,75÷3,92 | 6,28÷7,85 |
|------------------------------|------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Диаметр тормозного шкива $D$ | мм   | 200÷250   | 300÷350   | 400÷450   | 500÷700   | 800÷1000  |
| Ширина шкива $B$             | в мм | 70        | 90        | 90        | 110       | 150       |

Натяжения на концах тормозной ленты определяют по формуле:

$$S_1 = S_2 e^{f\alpha}; \quad (1)$$

в набегающем конце

$$S_1 = \frac{P e^{f\alpha}}{e^{f\alpha} - 1} \quad (2)$$

в сбегавшем конце

$$S_2 = \frac{P}{e^{f\alpha} - 1} \quad (3)$$

где  $f$  – коэффициент трения (табл. 9.40);  $\alpha$  – угол обхвата тормозного шкива в радианах. Значения  $e^{f\alpha}$  принимают по табл. 9.47.

Таблица 9.47

Значения  $e^{f\alpha}$  в зависимости от  $f$  и угла обхвата  $\alpha^\circ$ 

| Угол $\alpha^\circ$ | Значения $e^{f\alpha}$ в зависимости от $f$ и угла обхвата $\alpha^\circ$ |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                     | 36  | 45   | 72   | 90   | 193  | 144  | 162  | 180  | 193  | 216  | 252  | 270  | 288  |
|                     | $\alpha/\pi$  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| $f$                 | 0,2   | 0,25 | 0,4  | 0,5  | 0,6  | 0,8  | 0,9  | 1,0  | 1,1  | 1,2  | 1,4  | 1,5  | 1,6  |
|                     | $e^{f\alpha}$   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 0,10                | 1,06  | 1,08 | 1,13 | 1,17 | 1,21 | 1,29 | 1,33 | 1,37 | 1,40 | 1,46 | 1,52 | 1,60 | 1,65 |
| 0,15                | 1,10  | 1,12 | 1,21 | 1,26 | 1,32 | 1,46 | 1,53 | 1,63 | 1,68 | 1,76 | 1,93 | 2,00 | 2,13 |
| 0,18                | 1,12  | 1,15 | 1,25 | 1,30 | 1,40 | 1,51 | 1,66 | 1,76 | 1,86 | 1,97 | 2,21 | 2,14 | 2,47 |
| 0,20                | 1,13  | 1,17 | 1,29 | 1,37 | 1,45 | 1,65 | 1,76 | 1,87 | 2,03 | 2,13 | 2,41 | 2,57 | 2,73 |
| 0,25                | 1,17  | 1,22 | 1,37 | 1,48 | 1,60 | 1,87 | 2,03 | 2,19 | 2,37 | 2,57 | 3,00 | 3,25 | 3,51 |
| 0,30                | 1,21  | 1,26 | 1,46 | 1,60 | 1,76 | 2,12 | 2,34 | 2,57 | 2,82 | 3,10 | 3,74 | 4,11 | 4,52 |
| 0,35                | 1,25  | 1,31 | 1,55 | 1,77 | 1,93 | 2,41 | 2,69 | 3,03 | 3,35 | 3,74 | 4,56 | 5,12 | 5,81 |
| 0,40                | 1,29  | 1,37 | 1,65 | 1,90 | 2,13 | 2,73 | 3,10 | 3,51 | 3,93 | 4,52 | 5,81 | 6,60 | 7,47 |
| 0,45                | 1,33  | 1,43 | 1,76 | 2,03 | 2,34 | 3,10 | 3,57 | 4,11 | 4,74 | 5,45 | 7,24 | 8,15 | 9,60 |
| 0,50                | 1,37  | 1,48 | 1,87 | 2,20 | 2,57 | 3,51 | 4,11 | 4,31 | 5,61 | 6,59 | 9,02 | 10,5 | 12,3 |

| Угол $\alpha^\circ$ | 324          | 360   | 450  | 540    | 630   | 720    | 903    | 1080    | 1260    |
|---------------------|--------------|-------|------|--------|-------|--------|--------|---------|---------|
| $f$                 | $\alpha/\pi$ |       |      |        |       |        |        |         |         |
|                     | 1,8          | 2,0   | 2,5  | 3,0    | 3,5   | 4,0    | 5,0    | 6,0     | 7,0     |
|                     | $e^{\alpha}$ |       |      |        |       |        |        |         |         |
| 0,10                | 1,76         | 1,87  | 2,20 | 2,57   | 3,9   | 3,51   | 4,81   | 6,59    | 9,02    |
| 0,15                | 2,34         | 2,57  | 3,24 | 4,11   | 5,2   | 6,59   | 10,55  | 16,90   | 27,08   |
| 0,18                | 2,47         | 3,1   | 4,27 | 5,45   | 7,5   | 9,6    | 16,9   | 29,8    | 52,4    |
| 0,20                | 3,10         | 3,51  | 4,80 | 6,59   | 9,0   | 12,35  | 23,14  | 43,38   | 81,31   |
| 0,25                | 4,11         | 4,81  | 7,10 | 10,55  | 15,6  | 23,14  | 50,75  | 111,32  | 244,15  |
| 0,30                | 5,45         | 6,59  | 10,5 | 16,90  | 27,0  | 43,38  | 111,32 | 285,68  | 733,14  |
| 0,35                | 7,24         | 9,02  | 15,5 | 27,08  | 46,8  | 81,31  | 244,15 | 733,14  | 2199,9  |
| 0,40                | 9,60         | 12,35 | 23,1 | 43,38  | 81,3  | 152,40 | 535,49 | 1881,5  | 6610,7  |
| 0,45                | 12,74        | 16,90 | 34,3 | 69,49  | 141,3 | 285,63 | 1174,5 | 4828,5  | 19851,0 |
| 0,50                | 16,90        | 23,14 | 50,7 | 111,32 | 244,1 | 535,19 | 2575,9 | 12392,0 | 59608,0 |

Примечание. Для значений коэффициента трения  $f$  и величин углов, не помещенных в таблице, значения  $e^{\alpha}$  определяют интерполированием

При прерывистой обкладке ленты:

$$S_1 = S_2 \left(1 + 2f \cdot \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}\right)^n,$$

где  $\beta$  – угол между осями смежных обкладок (колодок);  $n$  – число обкладок (колодок).  
Ширину тормозной ленты назначают по допускаемому удельному давлению:

$$B = \frac{2S_1}{[q]D}$$

и принимают меньше ширины тормозного шкива на 5–10 мм. Значение  $[q]$  в табл.9.48.

Таблица 9.48

Значения  $[q]$  для ленточных тормозов, (МПа)

| Материалы трущихся поверхностей                             | $[q]$ |     |
|---|-------|-----|
|   | А     | Б   |
| Стальная лента по стальному или чугунному шкиву             | 1,5   | 1,0 |
| Асбестовая лента по стальному или чугунному шкиву           | 0,4   | 0,2 |
| Вальцованная или прессованная лента по металлическому шкиву | 0,4   | 0,3 |
| Дерево по чугунному шкиву                                   | 0,4   | 0,3 |

Примечание. Обозначение А – стопорный тормоз, Б – спусковой тормоз.

Толщину ленты  $\delta$  определяют расчетом на растяжение по максимальному натяжению ленты  $S_{1max}$

$$\delta = \frac{S_{1max}}{(B - nd)[\sigma]_p},$$

где  $d$  – диаметр заклепки в мм;  $n$  – количество заклепок в одном ряду;  $[\sigma]_p$  – допускаемое напряжение растяжения, МПа (табл. 9.49).

Таблица 9.49

Допускаемые напряжения растяжения  $[\sigma]_p$  тормозных лент (МПа)

| Материал ленты                       | $[\sigma]_p$ |
|--------------------------------------|--------------|
| Сталь Ст.3                           | 70           |
| Сталь Ст.4; 20; 25                   | 80           |
| Сталь Ст.5; 30; 35 (нормализованная) | 100          |
| Сталь Ст.6; 40; 45 (нормализованная) | 120          |

Рекомендуемые размеры тормозных лент приведены в табл. 9.50.

Таблица 9.50

Рекомендуемые размеры тормозных лент (мм)

| Ширина ленты            | 25 | 30 | 40  | 50 | 60  | 80 | 100 | 140 | 200    |
|-------------------------|----|----|-----|----|-----|----|-----|-----|--------|
| Толщина ленты, $\delta$ | 3  |    | 3-4 |    | 4-6 |    | 4-7 |     | 6-8-10 |

### Характеристики тормозов

По силовой характеристике различают простые (рис. 9.39, 9.40), дифференциальные (рис.9.41) и суммирующие (рис.9.42) ленточные тормоза.



**Тормоз простой ленточный** (рис. 9.39, 9.40) используют для одностороннего торможения; конец ленты, испытывающей большее натяжение  $S_1$ , крепится к неподвижному шарниру, а конец с меньшим натяжением  $S_2$  – к тормозному рычагу. Такой тормоз применяют только для одностороннего торможения, когда грузовой момент направлен в одну и ту же сторону.

Натяжения концов ленты определяют по формулам (2), (3). Угол обхвата  $\alpha = 180 \div 270^\circ$ .

Простые ленточные тормоза иногда выполняют с несколькими витками ленты. Угол обхвата при этом может достигать  $\alpha = 1,75 \cdot 360^\circ = 630^\circ$  (рис. 9.40).

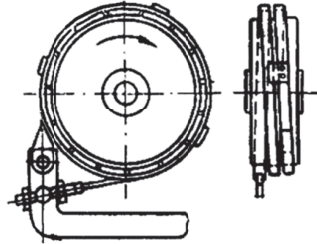


Рис. 9.40. Простой ленточный тормоз с несколькими витками ленты

Вес тормозного груза

$$G_{sp} = P \frac{a}{l} \cdot \frac{1}{e^{f\alpha} - 1}.$$

**Тормоз дифференциальный ленточный** в дифференциальном тормозе (рис.9.41) оба конца ленты прикреплены к тормозному рычагу.

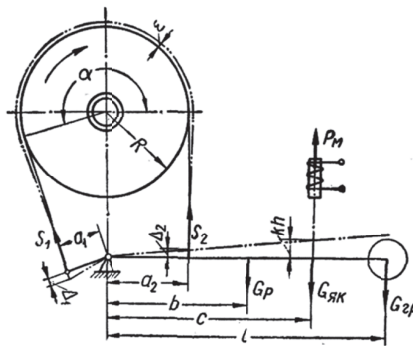


Рис. 9.41. Схема дифференциального ленточного тормоза

Момент от груза равняется разности моментов от натяжения концов ленты относительно оси вращения тормозного рычага:

$$G_{sp} l = S_2 a_2 - S_1 a_1.$$

Вес тормозного груза

$$G_{sp} = \frac{P}{l} \cdot \frac{a_2 - e^{f\alpha} a_1}{e^{f\alpha} - 1}.$$

Если принять  $a_2 \leq a_1 e^{f\alpha}$ , то тормоз будет самозатягивающимся.

Обычно  $a_1$  определяют конструктивно, а  $a_2 = (2,5 \div 2,0) \cdot a_1$  для исключения самозатягивания тормоза.

Дифференциальный тормоз работает с довольно сильными толчками, имеет малый путь растормаживания, не пригоден для механизмов с двусторонним вращением; применяют его лишь при невозможности применения простого тормоза.

В тормозе суммирующем ленточном (рис. 9.42) оба конца тормозной ленты укреплены на тормозном рычаге на равных расстояниях от оси вращения рычага.

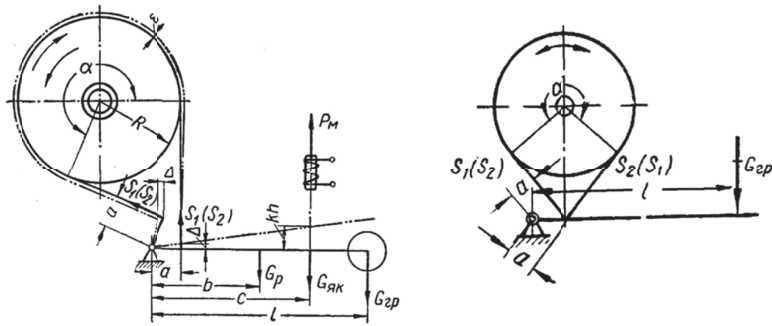


Рис. 9.42. Схемы устройства суммирующего ленточного тормоза

При этом  $a_1 = a_2 = a$ .

Момент груза равен сумме моментов натяжения концов ленты. Суммирующий тормоз может работать на реверсивном приводе. Для этого тормоза вес тормозного груза

$$G_{зр} = \frac{a}{l} (S_1 + S_2) = P \frac{a}{l} \cdot \frac{e^{f\alpha} + 1}{e^{f\alpha} - 1}.$$

### 9.10.3. ТОРМОЗА КОНИЧЕСКИЕ, ДИСКОВЫЕ И ПЛАСТИНЧАТЫЕ

Конические (рис. 9.43, а), дисковые (рис. 9.43, б) и пластинчатые (рис. 9.44) тормоза применяют в соединении с храповыми механизмами. Они работают для спуска груза от осевого давления на вал, вызываемого под действием груза, подвешенного на крюке крана.

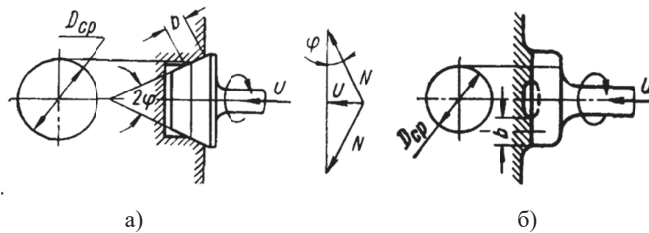


Рис. 9.43. Схемы тормозов:  
а – конического; б – дискового

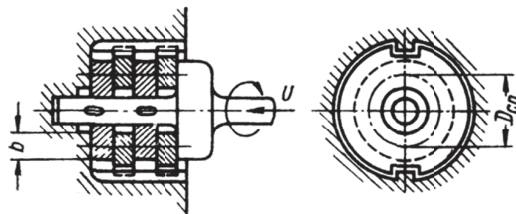


Рис. 9.44. Схема пластинчатого тормоза

Формулы для расчета осевого усилия  $U$ , обеспечивающего необходимый тормозной момент  $T_t$ , и для определения рабочей ширины  $b$  конуса или дисков трения приведены в табл. 9.51. В этих формулах:  $z$  – число пар трущихся поверхностей дисков, остальные величины – по рис. 9.43 и 9.44. Угол  $\varphi$  (рис. 9.43, а) принимают  $\varphi = 20 \div 28^\circ$ . Размеры трущихся поверхностей проверяются на нагрев по значению  $[qv]$  (табл. 9.41).

Формулы для расчета параметров тормозов

| Параметры                | Конструкции тормозов   |                                      |  |
|--------------------------|--|--------------------------------------|--|
|                          | Конический   | Дисковый                             | Пластинчатый                           |
| Осевое усилие            | $U = \frac{2T_T \sin \varphi}{D_{cp} f}$                               | $U = \frac{2T_T}{D_{cp} f}$          | $U = \frac{2T_T}{z D_{cp} f}$          |
| Ширина конуса или дисков | $b = \frac{N}{\pi D_{cp} [q]} = \frac{U}{\pi D_{cp} [q] \sin \varphi}$ | $b \approx \frac{N}{\pi D_{cp} [q]}$ | $b \approx \frac{N}{\pi D_{cp} [q] z}$ |

#### 9.10.4. ТОРМОЗА АВТОМАТИЧЕСКИЕ

К автоматическим тормозам относятся грузоупорные и центробежные тормоза.

**Центробежные тормоза** применяют в лебедках со свободным (без торможения) спуском груза. Назначение автоматического центробежного тормоза – регулирование скорости спуска груза в пределах допустимых ее значений.

Конструкция автоматического центробежного тормоза представлена на рис. 9.45.

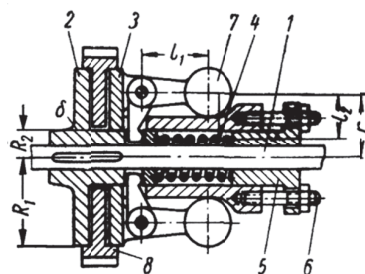


Рис. 9.45. Конструкция автоматического центробежного тормоза

На валу 1 закреплен на шпонке диск 2, на ступице которого установлен диск 3 с центробежным механизмом. При неподвижном положении тормоза пружина 4, упирающаяся во втулку 5, положение которой регулируется болтами 6, стремится раздвинуть диски 2 и 3. С повышением частоты вращения центробежные силы раздвигают шаровые грузы 7 и через угловые рычаги стремятся сблизить диски 2 и 3.

По мере возрастания частоты вращения, диски 2 и 3 зажимают храповое колесо 8, удерживаемое собачкой от вращения в сторону опускания груза.

При увеличении угловой скорости вала возрастает сила прижатия дисков 2 и 3 к поверхности обода храпового колеса 8, вследствие чего происходит притормаживающее действие дисков и тем самым регулируется скорость опускания груза.

Центробежная сила одного груза

$$P = \frac{m v^2}{r} = Gr \left( \frac{n}{300} \right)^2, H$$

где  $G$  – вес груза в  $H$ ;  $r$  – расстояние от центра груза до оси вала, мм;  $n$  – частота, мин<sup>-1</sup>.  
Усилие, действующее на втулку 5 диска

$$P_1 = P \frac{l_1}{l_2} = Gr \left( \frac{n}{300} \right)^2 \frac{l_1}{l_2}.$$

Усилие нажатия (осевое)

$$U = k P_1 - P_2 = k \frac{l_1}{l_2} Gr \left( \frac{n}{300} \right)^2 - P_2,$$

где  $k$  – число грузов;  $P_2$  – усилие пружины,  $H$ .

Следовательно

$$P_2 = k \frac{l_1}{l_2} Gr \left( \frac{n}{300} \right)^2 - \frac{2T_T}{f(R_1 + R_2)},$$

где  $T_T$  – тормозной момент;  $f$  – коэффициент трения между дисками.

**Тормоза грузоупорные.** Среди автоматических грузоупорных тормозов наибольшее распространение получила конструкция винтового тормоза (рис. 9.46). Назначение автоматического грузоупорного тормоза – регулирование скорости спуска груза в пределах допустимых ее значений.

Конструкция автоматического грузоупорного тормоза по принципу действия мало отличается от центробежного тормоза.

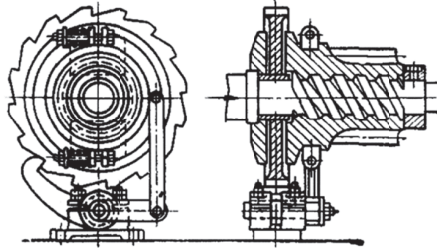


Рис. 9.46. Конструкция автоматического грузоупорного тормоза

Расчетный тормозной момент

$$T_T = \beta \frac{Uf(R_1 + R_2)}{2},$$

где  $R_1$  и  $R_2$  – соответственно наружный и внутренний радиусы тормозных дисков;  $U$  – осевое усилие;  $\beta$  – коэффициент запаса торможения;  $f$  – коэффициент трения (табл. 9.40).

Грузовой момент

$$T_k = Ur_0 \operatorname{tg}(\alpha + \rho) + Uf \frac{R_1 + R_2}{2},$$

где  $r_0$  – средний радиус винтовой резьбы;  $\alpha$  – угол подъема резьбы;  $\rho$  – угол трения.

Осевое усилие

$$U = \frac{T_k}{r_0 \operatorname{tg}(\alpha + \rho) + f \frac{R_1 + R_2}{2}}.$$

Принимают угол подъема резьбы в пределах  $\alpha = 8 \div 12^\circ$ , резьбу выполняют двух- или трехходовой. Принятые размеры трущихся поверхностей проверяют по  $[q]$  и  $[qv]$  (табл. 9.41). При больших тормозных моментах применяют многодисковые винтовые тормоза.

**Рукоятки и педали безопасные.** Рукоятки, позволяющие безопасное принудительное опускание груза (рис. 9.47), конструктивно соответствуют винтовым тормозам (рис. 9.46), у которых шестерня с нажимной шайбой заменена рукояткой, допускающей спуск груза лишь при вращении ее в сторону спуска.

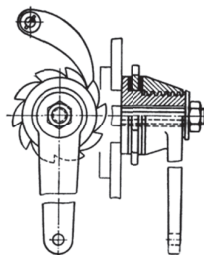


Рис. 9.47. Рукоятка с грузоупорным тормозом и храповиком

При подъеме груза рукоятка вращается по часовой стрелке и храповик зажимается между боковыми дисками; при этом собачка свободно проскальзывает по храповому колесу, не препятствуя подъему. При прекращении подъема вал рукоятки под действием поднятого груза проворачивается в обратную сторону, но собачка останавливает храповое колесо, зажатое между дисками; поэтому дальнейшее вращение всей системы становится невозможным.

Для опускания груза необходимо обратным вращением рукоятки против часовой стрелки ослабить торможение сжатием храпового колеса в течение всего времени спуска груза.

На рис.9.48 изображена конструкция с двумя выходными концами вала.

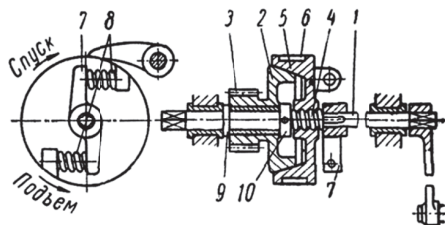


Рис. 9.48. Конструкция рукоятки с коническим тормозом и храповиком

На валу 1 свободно посажен конический диск 2 с ведущей шестерней 3, а на резьбу вала 4 навинчен другой конический диск 5 с храповыми зубьями 6.

На этом же валу закреплен на шпонке двуплечий рычаг 7, упирающийся в две пружины 8, которые имеют упоры в диске 5. Вал 1 снабжен заплечиком 9 и упорным кольцом 10 для ограничения осевого перемещения диска 2.

При подвешенном грузе пружины 8 через рычаг 7 поворачивают диск 5 относительно вала 1, благодаря чему он передвигается влево по резьбе 4 и прижимается к конусу 2, чем и достигается фрикционное сцепление дисков.

Собачка через храповые зубья 6 удерживает наружный конус 5, а следовательно, и конический диск 2 и шестерню 3, вследствие чего груз опускаться не может.

При подъеме груза вся система (рычаг 7, конусы 5 и 2 и шестерня 3) будет вращаться с валом 1; при этом собачка движению не препятствует.

Для спуска груза следует повернуть рукоятку в сторону, обратную подъему груза; в этом случае резьба вала 4 отведет конус 5 вправо, сжав пружины 8. Сцепления с коническим диском 2 не будет и последний с шестерней 3 сможет вращаться под влиянием опускающегося груза.

**Рукоятки и педали.** Рукоятки (рис. 9.49) применяются для передачи вращающего момента ведущим валам механизмов с ручным приводом.

Длину рычага рукоятки принимают в пределах 200–450 мм, а длину ручки для одного человека 300–350 мм, для двух человек 450–500 мм.

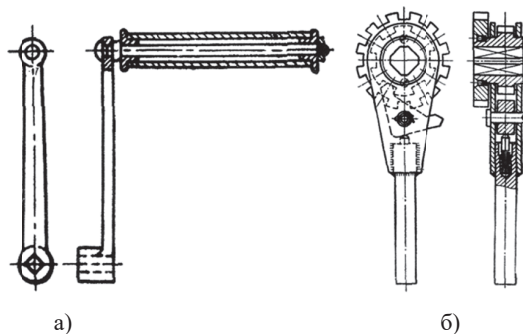


Рис.9.49. Конструкции рукояток

Если рукоятка не может вращаться вокруг приводного вала на 360° или расположение приводного вала не допускает удобного обслуживания обычной рукояткой (рис.9.49, а и табл.9.53), применяют удлиненные качающиеся рукоятки с трещотками (рис. 9.49, б).

Для привода ручных механизмов управления подъемно-транспортными машинами применяют рычаги и педали. Ход рычагов принимают до 400 мм, ход педалей – не более 250 мм. Наибольшее допускаемое усилие рабочего на ручных рычагах управления и на педалях в табл. 9.52.

Т а б л и ц а 9.52

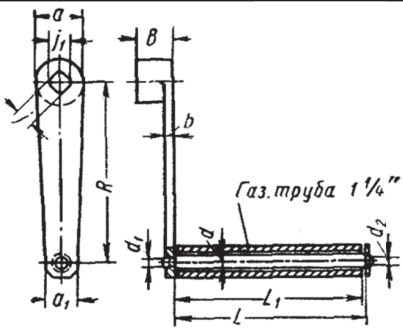
Наибольшее допустимое усилие рабочего на ручных рычагах управления и на педалях

| Характер работы                         | Усилие рабочего, $H$ |           | Ход, мм  |        |
|---|----------------------|-----------|----------|--------|
|   | на рукоятке          | на педали | рукоятки | педали |
| Основная, длительная работа             | 78                   | 118       | 400      | 250    |
| Кратковременная работа (не более 5 мин) | 157                  | 245       | 400      | 250    |

Примечание. Расчетный угол поворота педали – до 60°, а рукоятки – 30°.

Т а б л и ц а 9.53

Рукоятки (мм)



| $R$ | $J/J_1$ | $a$ | $a_1$ | $B$ | $L$ | $L_1$ | $b$ | $D$ | $d_1$ | $d_2$ |
|-----|---------|-----|-------|-----|-----|-------|-----|-----|-------|-------|
| 250 | 22/30   | 60  | 50    | 50  | 250 | 248   | 12  | 26  | 22    | 12    |
| 300 | 27/38   | 70  | 50    | 60  | 300 | 298   | 14  | 28  | 24    | 14    |
| 350 | 32/45   | 80  | 60    | 60  | 450 | 448   | 16  | 30  | 26    | 16    |
| 400 | 46/65   | 90  | 60    | 75  | 450 | 448   | 18  | 32  | 28    | 16    |



## Глава 10 ПРУЖИНЫ

### 10.1. НАЗНАЧЕНИЕ, МАТЕРИАЛЫ И СВОЙСТВА ПРУЖИН

*Пружины* – упругие детали машин, назначение которых при определенных условиях (при деформациях) аккумулировать кинетическую энергию упругости металла и передавать ее связанным с ними деталям машины для выполнения ими предназначенной для них работы. Величина деформации (сжатие или растяжение) пружины изменяется пропорционально нагрузке, а их значение может быть определено по закону Гука.

Пружины изготавливают из металла круглого и прямоугольного сечения. В технологических машинах широко применяют цилиндрические винтовые пружины, изготовленные из проволоки или прутка круглого сечения.

Среди металлов для пружин широко применяют сталь марок Сталь 65Г, 60С2, 60ХФА и др., а также бронзу марок Бр.ОЦ 4-3, Бр.КМц 3-1, Бр.Б2 и др. Кремнистые, кремневольфрамовые и хромованадиевые стали хорошо противостоят ударным нагрузкам. Углеродистые и особенно хромованадиевые стали обладают лучшей усталостной прочностью. Оловянно-цинковые, кремнемарганцовистые и бериллиевые бронзы обладают стойкостью в коррозионной среде.

В табл. 10.1, 10.2, 10.3 приведен краткий перечень материалов и их свойства, наиболее часто применяемых для изготовления пружин с учетом условий их работы.

Таблица 10.1

| Марка стали | Режим термической обработки |                  |                         | Механические свойства |                  |              |            |
|-------------|-----------------------------|------------------|-------------------------|-----------------------|------------------|--------------|------------|
|             | температура закалки, °С     | закалочная среда | температура отпуска, °С | $\sigma_T$ , МПа      | $\sigma_B$ , МПа | $\delta$ , % | $\psi$ , % |
| 65          | 830                         | Масло            | 470                     | 785                   | 981              | 10           | 35         |
| 60Г         | 830                         |                  | 470                     | 785                   | 981              | 8            | 30         |
| 65Г         | 830                         |                  | 470                     | 785                   | 981              | 8            | 30         |
| 55С2, 55С2А | 870                         | Масло или вода   | 470                     | 1177                  | 1275             | 6            | 30         |
| 60С2        | 870                         | Масло            | 470                     | 1177                  | 1275             | 6            | 25         |
| 60С2Г       | 870                         |                  | 470                     | 1324                  | 1471             | 6            | 25         |
| 50ХФА       | 850                         |                  | 470                     | 1079                  | 1275             | 8            | 35         |
| 60С2Н2А     | 870                         |                  | 470                     | 1324                  | 1471             | 8            | 30         |

Таблица 10.2

| Марка                   | Свойства         |                        |
|-------------------------|------------------|------------------------|
|                         | $\sigma_B$ , МПа | $\lambda$ , Вт/(см·°С) |
| ЛАНКМц75-2-2,5-0,5 -0,5 | 582              | 126                    |

Таблица 10.3

| Марка        | НВ          | $\delta$ , % | $\sigma_B$ , МПа |
|--------------|-------------|--------------|------------------|
| БрОЦ4-3      | 49,0–68,6   | 35–45        | 295–392          |
| БрОФ6,5-0,4  | 68,6–88,4   | 60–70        | 343–442          |
| БрОФ6,5-0,15 | 54,0–1–68,6 | 45–50        | 295–372          |
| БрА7         | 63,8–73,5   | 65–75        | 432–490          |
| БрБ2         | 127,6–147,0 | 40–50        | 392–588          |
| БрКМц3-1     | 68,6–78,4   | 50–60        | 343–392          |

Пружины из пружинных сталей в зависимости от условий их работы могут быть представлены следующими классами (табл. 10.4).

Таблица 10.4

| Классы пружин   |   |
|---|---|
| Классы  | Характер работы   |
| I   | Пружины, подвергающиеся в процессе работы ударным нагрузкам; пружины, работающие со 100 и более циклами изменений напряжений в минуту |
| II  | Пружины, работающие при безударных нагрузках; пружины, работающие со 100 и менее циклами изменений напряжений в минуту                |
| III   | Пружины, работающие при статической или плавно прилагаемой переменной по величине нагрузке  |
| Допускаемые напряжения пружинных сталей (Сталь 65Г, Сталь 60С2 и др.)             |   |
| Механические свойства   |   |
| Значения и зависимости  |   |
| Допускаемые напряжения $[\tau]$ при сжатии пружин до соприкосновения витков, МПа, | $[\tau] = 0,55 \sigma_B$  |
| Допускаемые рабочие напряжения $[\tau]$ для пружин класса I, МПа                  | $[\tau]_I = 0,3 \sigma_B = 0,55[\tau]$  |
| Допускаемые рабочие напряжения $[\tau]_{II}$ для пружин класса II, МПа,           | $[\tau]_{II} = 0,44 \sigma_B = 0,8[\tau]$   |
| Допускаемые рабочие напряжения $[\tau]_{III}$ для пружин класса III, МПа,         | $[\tau]_{III} = 0,5 \div 0,55 \sigma_B \approx [\tau]$  |
| Модуль сдвига, МПа, для стальных пружин   | $G = 80000$   |

Механические свойства стальной углеродистой пружинной проволоки приведены в табл. 10.5, проволоки из сплавов цветных металлов в табл. 10.6.

Т а б л и ц а 10.5

Механические свойства стальной углеродистой пружинной проволоки

| Диаметр, мм         | $\sigma_b$ , МПа, для классов прочности |             |             |
|---------------------|---|-------------|-------------|
|                     | 3                                       | 2           | 1           |
| 1,1 1,2 1,3 1,4 1,5 | 1500...1900                             | 1900...2300 | 2300...2500 |
| 1,6 1,7 1,8 2,0     | 1400...1800                             | 1800...2100 | 2100...2400 |
| 2,2 2,3 2,5 2,8 3,0 | 1300...1650                             | 1650...1950 | 1750...2000 |
| 3,2 3,4 3,5 3,6 4,0 | 1200...1550                             | 1550...1800 | 1650...1900 |

Для пружин из проволоки  $d = 3 \div 12$  мм из Стали 65Г, 60С2А, 65С2ВА, 5СХФА принимают  $[\tau] = 750$  Н/мм<sup>2</sup>, при больших диаметрах проволоки ( $d = 14 \div 50$  мм) из Стали 65Г, 60С2А, 60С2, 65С2ВА, 70С3А, 50ХФА принимают  $[\tau] = 650$  Н/мм<sup>2</sup>

Т а б л и ц а 10.6

Механические свойства проволоки из сплавов цветных металлов

| Проволока из оловянноцинковой бронзы Бр.ОЦ 4-3 для пружин |                  |                       | Проволока из кремнемарганцовистой бронзы Бр.КМц 3-1 для пружин |                  |                       | Проволока из бериллиевой бронзы Бр.Б2 для пружин |                  |                       |
|---|------------------|-----------------------|--|------------------|-----------------------|--|------------------|-----------------------|
| диаметр, мм   | $\sigma_b$ , МПа | $\delta$ на 100 мм, % | диаметр, мм  | $\sigma_b$ , МПа | $\delta$ на 100 мм, % | диаметр, мм                                      | $\sigma_b$ , МПа | $\delta$ на 100 мм, % |
| 0,1–2,5   | 900              | 0,5                   | 0,1–2,6  | 900              | 0,5                   | 8,5–10   | 780              | 2,0                   |
| 2,8–4,0   | 850              | 1,0                   | 2,8–4,2  | 850              | 1,0                   | 0,1–1,0  | 1000             | 0,5                   |
| 4,5–8,0   | 830              | 1,0                   | 4,5–8,0  | 830              | 1,5                   | 1–10   | 800              | 1,0                   |
| 8,5–12,0  | 780              | 2,0                   | –  | –                | –                     | –  | –                | –                     |

*Примечания:* 1. Пружины из проволоки бериллиевой бронзы применяют в особо ответственных случаях для работы в коррозионной среде при высокой температуре под переменными нагрузками. 2. Модуль сдвига для бронзовых пружин –  $G=40000$  МПа.

**Заневоливание пружин.** Для повышения несущей способности пружин при упругих деформациях, в основном для пружин сжатия, производят их заневоливание. Для этого сжимают пружины до соприкосновения витков и выдерживают их в таком состоянии в течение 6–48 часов, в результате чего пружина получает остаточную усадку. Этой операции подвергают в основном пружины статического или ограничено кратковременного динамического воздействия.

Пружины длительного вибрационного действия (для клапанов), пружины, предназначенные для работы при повышенных температурах 150–450 °С или в коррозионной среде, заневоливать не следует.

При проектировании заневоленных пружин следует учитывать их остаточные деформации для сохранения рабочей характеристики пружины.

## 10.2. ПРУЖИНЫ ВИНТОВЫЕ СЖАТИЯ И РАСТЯЖЕНИЯ С ВИТКАМИ КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ

К основным параметрам пружины относят  $D$  – средний диаметр;  $\alpha$  – угол подъема средней винтовой линии;  $n$  – число витков и ее нагрузочная способность (рис. 10.1).

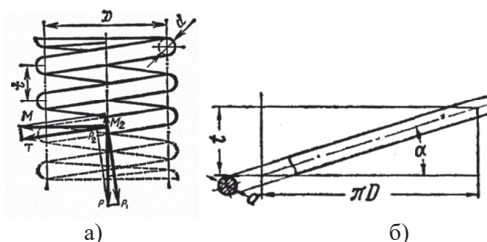


Рис. 10.1. Нагрузки, воспринимаемые винтовыми пружинами: а – растяжения и сжатия, б – развертка витка пружины

В любом поперечном сечении витка винтовой пружины растяжения или сжатия при работе возникают сила  $P$  (рис. 10.1, а), направленная по осевой линии пружины, и момент  $M=PD/2$ , вектор которого перпендикулярен к осевой линии пружины. Силу  $P$  раскладывают на поперечную  $P_1=P \cos \alpha$  и продольную  $P_2=P \sin \alpha$  силы.

При разложении момента  $M$  по осевой линии витка пружины и перпендикулярно к нему в поперечном сечении проволоки пружины возникают моменты:

крутящий, который выражается формулой —  $T=PD \cos \alpha/2$ ;

изгибающий, который выражается формулой —  $M_2=PD \sin \alpha/2$ .

Так как угол  $\alpha < 10 \div 12^\circ$ , то изгибающий момент  $M_2$  значительно меньше крутящего  $T$ , а продольная сила  $P_2 = P \sin \alpha$  значительно меньше поперечной силы  $P_1 = P \cos \alpha$  к витку, но, как показывают расчеты, касательные напряжения сдвига значительно меньше касательных напряжений кручения, поэтому для упрощения расчета пружин на прочность обычно учитывают лишь крутящий момент  $T$ , при этом приближенно принимают  $\cos \alpha = 1$ , т. е.

$$T \approx M = 0,5PD/2.$$

При проверочном расчете винтовой цилиндрической пружины растяжения или сжатия из проволоки круглого поперечного сечения, когда ее размеры известны, расчет производят по формуле:

$$\tau = \frac{8kPD}{\pi d^3} = \frac{8kPc}{\pi d^2} \leq [\tau],$$

где  $\tau$  – расчетное максимальное напряжение в поперечных сечениях витков пружины;

$[\tau]$  – допускаемое напряжение для проволоки пружины;  $k > 1$  – коэффициент, зависящий от формы и кривизны витков;

$P$  – максимальная растягивающая или сжимающая сила;  $c = D/d$  – индекс пружины.

Значения коэффициента  $k$  принимают по табл. 10.7 в зависимости от индекса пружины  $c = D/d$ .

Т а б л и ц а 10.7

| Значения коэффициента $k$ |      |      |      |      |      |      |
|---------------------------|------|------|------|------|------|------|
| $c$                       | 4    | 5    | 6    | 8    | 10   | 12   |
| $k$                       | 1,37 | 1,29 | 1,24 | 1,17 | 1,14 | 1,11 |

Допускаемое напряжение  $[\tau]$  пружин при *статических* нагрузках можно принимать по табл. 10.4. При *пульсирующей* нагрузке с небольшим числом циклов допускаемые напряжения  $[\tau]$  следует принимать в 1,25...1,5 раза ниже.

### 10.2.1. ПРУЖИНЫ СЖАТИЯ С ВИТКАМИ КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ

Пружины цилиндрические винтовые сжатия круглого сечения представляют собой конструкцию с рабочей характеристикой, приведенной на рис. 10.2, у которой несущее тело (проволока или прутки) располагается на одинаковом расстоянии от оси и расположено по винтовой линии, которая образует витки с равномерным шагом –  $t$ .

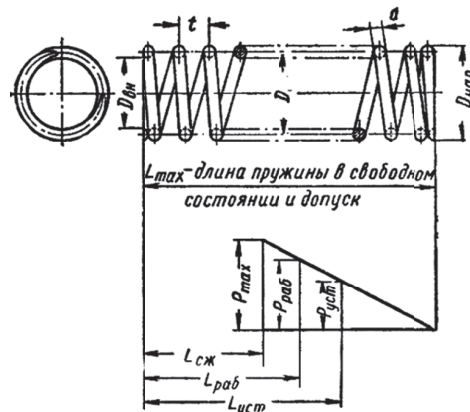


Рис. 10.2. Пружина сжатия

Торцы пружины сжатия перпендикулярны осевой линии потому, что последние витки поджаты и шлифованы под плоский торец. Пружина характеризуется наружным –  $D_{нар}$ , внутренним –  $D_{вн}$  и средним –  $D$  диаметрами; длиной в свободном состоянии –  $L_{max}$ , установочной длиной –  $L_{уст}$ , которая соответствует исходному положению конструкции (нагрузка  $P_{уст}$ ), длиной рабочего хода –  $L_{раб}$ , которая соответствует перемещению конструкции под действием упругих сил пружины –  $P_{раб} = P_{пред}$ , предельной длиной сжатия –  $L_{сж}$ , при которой пружина может потерять свои упругие свойства (нагрузка  $P_{max}$ ).

Основные зависимости:  $L_{max} = L_{сж} + n(t - d)$ ;  $L_{сж} = (n_0 - 0,5)d$ ;  $n = n_0 + (1,5...2)$ ;  $t = d + (L_{max} - L_{сж})/n$ , где  $n_0$  – рабочее число витков;  $n$  – полное число витков;  $t$  – шаг витков. Угол подъема витков ненагруженной пружины  $\alpha = 6 \div 9^\circ$ .

**Расчет винтовых пружин сжатия с витками круглого сечения.** Основные зависимости, применяемые для расчета пружин сжатия круглого сечения.

(Характеристики пружины, часто, приводят в кГс (1 кГс  $\approx$  10Н) потому, что измерительные приборы для пружин имеют тарировку в этих единицах).

Предельно допускаемая нагрузка  $P_{пр}$  в конце сжатия пружины, в Н

$$P_{пр} = \frac{\pi d^2}{8kD} [\tau],$$

где  $d$  – диаметр проволоки,  $D$  – средний диаметр пружины,  $k < 1,4 \div 1,2$  с увеличением  $c > 3 \div 7$ .

$$k = \frac{4c - 1}{4c - 4} + \frac{0,615}{c}, \text{ где } c = \frac{D}{d}.$$

Диаметр проволоки, в мм (формулу применяют при проектировочном расчете пружины)

$$d = 1,6 \cdot \sqrt{\frac{kP_{пр}c}{[\tau]}},$$

где  $c = 5 \div 8$  и более.

Рабочая нагрузка  $P_1$ , при рабочем напряжении  $[\tau]_1$

$$P_1 = \frac{\pi d^2}{8kD} [\tau]_1.$$

Предельное осевое перемещение витков пружины при предельно допустимой нагрузке, в мм

$$\lambda_{np} = \frac{8P_{np}D^3n}{Gd^4} = \frac{8P_{np}c^3n}{Gd} = \frac{\pi D^2n}{kGd} [\tau],$$

где  $G$  = модуль сдвига, для стали  $G = 8 \cdot 10^4$  Н/мм<sup>2</sup> (для учета кривизны витков),  $n$  – число рабочих витков пружины. Максимально допустимое сжатие одного витка, в мм

$$\lambda = \frac{\pi D [\tau]}{Gkd}.$$

Рабочее осевое перемещение одного витка пружины при нагрузке в 1,0 Н, в мм

$$\lambda_1 = \frac{0,8c^3}{Gd}.$$

Рабочее осевое перемещение витков пружины, в мм

$$\lambda = \lambda_1 n P.$$

Если конструкция пружины не соответствует замыслу, то расчет повторяют, заменив значение  $c$  на другое с учетом рекомендаций, приведенных в таблице 10.8.

Таблица 10.8

Выбор значений  $c=D/d$ 

|       |       |      |      |
|-------|-------|------|------|
| d, мм | 1-2,5 | 3-5  | 6-12 |
| c     | 5-12  | 4-10 | 4-9  |

Если заданы значения  $P_{np}$  и  $\lambda_{np}$ , то задаются значением  $c$  и определяют по формулам  $d$ ,  $D$  и  $n_0$  – число рабочих витков.

$$n_0 = \frac{\lambda_{np} G d^4}{8 P_{np} D^3} = \frac{\lambda_{np} G d}{8 P_{np} c^3} = \frac{\lambda_{np} k G d}{\pi D^2 [\tau]}.$$

Расчетный шаг пружины в свободном состоянии, в мм

$$t = \frac{\pi D^2 [\tau]}{Gkd}.$$

Длина проволоки для изготовления пружины, в мм

$$L = \pi D (n_0 + 1,5).$$

**Расчет на жесткость пружин с витками круглого сечения.** Изменение высоты (осадки) цилиндрической винтовой пружины из проволоки круглого сечения определяют по формуле

$$\lambda = \frac{8PD^2n}{Gd^4},$$

где  $n$  – число рабочих витков пружины;

$G$  = модуль сдвига, для стали  $G = 8 \cdot 10^4$  Н/мм<sup>2</sup>.

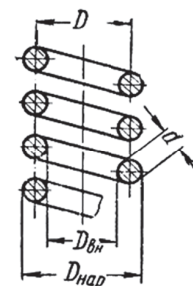
Из этой формулы следует, что осадка пружины  $\lambda$  прямо пропорциональна ее нагрузке. Следовательно, график зависимости  $\lambda$  от  $P$ , так называемая характеристика пружины, представляет собой прямую линию (с углом наклона, зависящим от жесткости пружины).

**Табличный способ подбора пружин.** Для повышения точности расчета и сокращения затрат времени на проведение расчетов пружин специалистами составлены таблицы, по которым определяются параметры пружин в соответствии с требованиями конструкции, в которой она будет работать.

Ниже приводится вспомогательная табл. 10.9 для подбора пружин растяжения-сжатия по конструктивным параметрам механизмов машины.

Таблица для подбора пружин сжатия и растяжения (мм)

| d    | c = 4            |     |                 |                 |       |       | c = 5            |      |                 |                 |       |       | c = 6            |     |                 |                 |       |                  |
|------|------------------|-----|-----------------|-----------------|-------|-------|------------------|------|-----------------|-----------------|-------|-------|------------------|-----|-----------------|-----------------|-------|------------------|
|      | D <sub>нар</sub> | D   | D <sub>вн</sub> | P <sub>10</sub> |       | λ     | D <sub>нар</sub> | D    | D <sub>вн</sub> | P <sub>10</sub> |       | λ     | D <sub>нар</sub> | D   | D <sub>вн</sub> | P <sub>10</sub> |       | λ                |
|      |                  |     |                 | H               | кГс   |       |                  |      |                 | H               | кГс   |       |                  |     |                 | H               | кГс   |                  |
| 0,5  | -                | -   | -               | -               | -     | -     | -                | -    | -               | -               | -     | -     | -                | -   | -               | -               | -     | λ <sub>0,1</sub> |
| 0,6  | -                | -   | -               | -               | -     | -     | -                | -    | -               | -               | -     | -     | -                | -   | -               | -               | -     | 0,043            |
| 0,8  | -                | -   | -               | -               | -     | -     | -                | -    | -               | -               | -     | -     | -                | -   | -               | -               | -     | 0,036            |
| 1,0  | -                | -   | -               | -               | -     | -     | -                | -    | -               | -               | -     | -     | -                | -   | -               | -               | -     | 0,027            |
|      |                  |     |                 |                 |       |       |                  |      |                 |                 |       |       |                  |     |                 |                 |       | 0,022            |
|      |                  |     |                 |                 |       |       |                  |      |                 |                 |       |       |                  |     |                 |                 |       | λ <sub>1</sub>   |
| 1,2  | -                | -   | -               | -               | -     | -     | 7,2              | 6    | 4,8             | 8,6             | 0,88  | 0,104 | 8,4              | 7,2 | 6               | 7,45            | 0,76  | 0,180            |
| 1,5  | -                | -   | -               | -               | -     | -     | 9                | 7,5  | 6               | 13,4            | 1,37  | 0,083 | 10,5             | 9   | 7,5             | 11,7            | 1,19  | 0,144            |
| 2,0  | -                | -   | -               | -               | -     | -     | 12               | 10   | 8               | 23,9            | 2,44  | 0,063 | 14               | 12  | 10              | 20,7            | 2,11  | 0,108            |
| 2,5  | -                | -   | -               | -               | -     | -     | 15               | 12,5 | 10              | 37,1            | 3,81  | 0,05  | 17,5             | 15  | 12,5            | 32,4            | 3,30  | 0,086            |
|      |                  |     |                 |                 |       |       |                  |      |                 |                 |       |       |                  |     |                 |                 |       | λ <sub>10</sub>  |
| 3,0  | 15               | 12  | 9               | 63,3            | 6,45  | 0,213 | 18               | 15   | 12              | 53,7            | 5,48  | 0,417 | 21               | 18  | 15              | 46,6            | 4,75  | 0,721            |
| 4,0  | 20               | 16  | 12              | 113             | 11,5  | 0,160 | 24               | 20   | 16              | 95,6            | 9,75  | 0,313 | 28               | 24  | 20              | 82,9            | 8,45  | 0,540            |
| 5,0  | 25               | 20  | 15              | 176             | 17,9  | 0,128 | 30               | 25   | 20              | 149,1           | 15,23 | 0,250 | 35               | 30  | 25              | 129             | 13,2  | 0,432            |
| 6,0  | 30               | 24  | 18              | 253             | 25,8  | 0,107 | 36               | 30   | 24              | 215             | 21,92 | 0,208 | 42               | 36  | 30              | 186             | 19,0  | 0,360            |
|      |                  |     |                 |                 |       |       |                  |      |                 |                 |       |       |                  |     |                 |                 |       | λ <sub>100</sub> |
| 8,0  | 40               | 32  | 24              | 450             | 45,9  | 0,800 | 48               | 40   | 32              | 382             | 39,0  | 1,562 | 56               | 48  | 40              | 331             | 33,8  | 2,70             |
| 10,0 | 50               | 40  | 30              | 703             | 71,7  | 0,640 | 60               | 50   | 40              | 597             | 60,9  | 1,250 | 70               | 60  | 50              | 518             | 52,8  | 2,16             |
| 12,0 | 60               | 48  | 36              | 1012            | 103,2 | 0,533 | 72               | 60   | 48              | 860             | 87,7  | 1,041 | 84               | 72  | 60              | 745             | 76    | 1,80             |
| 15,0 | 75               | 60  | 45              | 1582            | 161,3 | 0,427 | 90               | 75   | 60              | 1344            | 137,0 | 0,833 | 105              | 90  | 75              | 1167            | 119   | 1,44             |
| 20,0 | 100              | 80  | 60              | 2813            | 286,8 | 0,320 | 120              | 100  | 80              | 2313            | 244,0 | 0,625 | 140              | 120 | 100             | 2069            | 211   | 1,08             |
| 25,0 | 125              | 100 | 75              | 4394            | 448,1 | 0,256 | 150              | 125  | 100             | 3736            | 381,0 | 0,500 | 175              | 150 | 125             | 3236            | 330   | 0,864            |
| 30,0 | 150              | 120 | 90              | 6325            | 645,0 | 0,233 | 180              | 150  | 120             | 5375            | 548,1 | 0,417 | 210              | 180 | 150             | 4658            | 475   | 0,720            |
| 40,0 | 200              | 160 | 120             | 11278           | 1150  | 0,160 | 240              | 200  | 160             | 9556            | 974,4 | 0,313 | 280              | 240 | 200             | 8286            | 845   | 0,540            |
|      |                  |     |                 |                 |       |       |                  |      |                 |                 |       |       |                  |     |                 |                 |       | λ <sub>0,1</sub> |
| d    | c = 8            |     |                 |                 |       |       | c = 10           |      |                 |                 |       |       | c = 12           |     |                 |                 |       |                  |
|      | D <sub>нар</sub> | D   | D <sub>вн</sub> | P <sub>10</sub> |       | λ     | D <sub>нар</sub> | D    | D <sub>вн</sub> | P <sub>10</sub> |       | λ     | D <sub>нар</sub> | D   | D <sub>вн</sub> | P <sub>10</sub> |       | λ                |
|      |                  |     |                 | H               | кГс   |       |                  |      |                 | H               | кГс   |       |                  |     |                 | H               | кГс   |                  |
| 0,2  | 1,8              | 1,6 | 1,4             | 0,016           | 0,001 | 0,256 | 2,2              | 2,0  | 1,8             | 0,136           | 0,138 | 0,500 | 2,6              | 2,4 | 2,2             | 0,116           | 0,011 | 0,864            |
| 0,25 | 2,25             | 2,0 | 1,75            | 0,257           | 0,026 | 0,205 | 2,75             | 2,5  | 2,25            | 0,212           | 0,021 | 0,400 | 3,3              | 3,0 | 2,75            | 0,194           | 0,018 | 0,691            |
| 0,3  | 2,7              | 2,4 | 2,1             | 0,380           | 0,038 | 0,171 | 3,3              | 3,0  | 2,7             | 0,304           | 0,031 | 0,333 | 3,9              | 3,6 | 3,3             | 0,261           | 0,026 | 0,576            |
| 0,4  | 3,6              | 3,2 | 2,8             | 0,658           | 0,067 | 0,128 | 4,4              | 4,0  | 3,6             | 0,541           | 0,055 | 0,250 | 5,2              | 4,8 | 4,4             | 0,463           | 0,047 | 0,432            |
| 0,5  | 4,5              | 4,0 | 3,5             | 1,030           | 0,105 | 0,102 | 5,5              | 5,0  | 4,5             | 0,845           | 0,086 | 0,200 | 6,5              | 6,0 | 5,4             | 0,724           | 0,073 | 0,346            |
| 0,6  | 5,4              | 4,8 | 4,2             | 1,493           | 0,151 | 0,085 | 6,6              | 6,0  | 5,4             | 1,22            | 0,124 | 0,167 | 7,8              | 7,2 | 6,6             | 1,041           | 0,106 | 0,288            |
| 0,8  | 7,2              | 6,4 | 5,6             | 2,636           | 0,268 | 0,064 | 8,8              | 8,0  | 7,2             | 2,17            | 0,220 | 0,125 | 10,4             | 9,6 | 8,8             | 1,851           | 0,188 | 0,216            |
| 1,0  | 9,0              | 8,0 | 7,0             | 4,120           | 0,420 | 0,051 | 11               | 10   | 9,0             | 3,38            | 0,345 | 0,100 | 13               | 12  | 11              | 2,892           | 0,295 | 0,173            |
|      |                  |     |                 |                 |       |       |                  |      |                 |                 |       |       |                  |     |                 |                 |       | λ <sub>1</sub>   |
| 1,2  | 10,8             | 9,6 | 8,4             | 5,93            | 0,605 | 0,427 | 13,2             | 12   | 10,8            | 4,87            | 0,497 | 0,833 |                  |     |                 |                 |       |                  |
| 1,5  | 13,5             | 12  | 10,5            | 9,27            | 0,945 | 0,341 | 16,5             | 16   | 13,5            | 7,61            | 0,776 | 0,667 |                  |     |                 |                 |       |                  |
| 2,0  | 18,0             | 16  | 14              | 16,5            | 1,68  | 0,256 | 22               | 20   | 18,0            | 13,6            | 1,380 | 0,500 |                  |     |                 |                 |       |                  |
| 2,5  | 22,5             | 20  | 17,5            | 25,7            | 2,62  | 0,205 | 27,5             | 25   | 22,5            | 21,2            | 2,160 | 0,400 |                  |     |                 |                 |       |                  |
|      |                  |     |                 |                 |       |       |                  |      |                 |                 |       |       |                  |     |                 |                 |       | λ <sub>10</sub>  |
| 3,0  | 27               | 24  | 21              | 37,1            | 3,78  | 1,71  | 33               | 30   | 27              | 30,4            | 3,10  | 3,33  |                  |     |                 |                 |       |                  |
| 4,0  | 36               | 32  | 28              | 65,9            | 6,72  | 1,28  | 44               | 40   | 36              | 54,1            | 5,52  | 2,50  |                  |     |                 |                 |       |                  |
| 5,0  | 45               | 40  | 35              | 104             | 10,50 | 1,02  | 55               | 50   | 45              | 84,5            | 8,62  | 2,00  |                  |     |                 |                 |       |                  |
| 6,0  | 54               | 48  | 42              | 148             | 15,12 | 0,85  | 66               | 60   | 54              | 122             | 12,4  | 1,67  |                  |     |                 |                 |       |                  |
|      |                  |     |                 |                 |       |       |                  |      |                 |                 |       |       |                  |     |                 |                 |       | λ <sub>100</sub> |
| 8,0  | 72               | 64  | 56              | 264             | 26,9  | 6,4   |                  |      |                 |                 |       |       |                  |     |                 |                 |       |                  |
| 10,0 | 90               | 80  | 70              | 411             | 42,0  | 5,12  |                  |      |                 |                 |       |       |                  |     |                 |                 |       |                  |
| 12,0 | 108              | 96  | 84              | 593             | 60,5  | 4,27  |                  |      |                 |                 |       |       |                  |     |                 |                 |       |                  |
| 15,0 | 135              | 120 | 105             | 927             | 94,5  | 3,41  |                  |      |                 |                 |       |       |                  |     |                 |                 |       |                  |



Примечание. Индекс c = D/d; грузоподъемность и жесткость G = 80 кН/мм<sup>2</sup>.

Нагрузка P<sub>10</sub> соответствует наибольшему напряжению в пружине τ = 9,81 кН/м<sup>2</sup> (10 кГс/мм<sup>2</sup>). λ<sub>1</sub> с индексом внизу обозначает деформацию одного витка при нагрузке пружины силами P соответственно: λ<sub>0,1</sub>...P = 0,981 Н (0,1 кГс); λ<sub>1</sub>...P = 9,81 Н (1 кГс); λ<sub>10</sub>...P = 98,1 Н (10 кГс); λ<sub>100</sub>...P = 981 Н (100 кГс); d – диаметр проволоки; D<sub>нар</sub> – наружный диаметр пружины; D – средний диаметр пружины; D<sub>вн</sub> – внутренний диаметр пружины.

Методика подбора пружины сжатия с помощью табл. 10.9. Например, для работы конструкции требуется пружина сжатия с рабочей нагрузкой 15 кГс, при деформации λ = 20 мм.; [τ] = 60 кГс/мм<sup>2</sup>.

$$\text{Определяем } P_{10} = 15 \frac{10}{60} = 2,5 \text{ кГс.}$$

По табл. 10.9 находим:

- 1) P<sub>10</sub> = 2,44 кГс; d = 2 мм; D = 10 мм; λ<sub>1</sub> = 0,063 мм; c = 5.
- 2) P<sub>10</sub> = 2,62 кГс; d = 2,5 мм; D = 20 мм; λ<sub>1</sub> = 0,205 мм; c = 8.

Определяем число витков для каждого случая.

$$n_1 = \frac{\lambda}{\lambda_1 P} = \frac{20}{0.063 \cdot 15} = 21 \text{ виток}; n_2 = \frac{\lambda}{\lambda_2 P} = \frac{20}{0.205 \cdot 15} = 6.5 \text{ витков.}$$

Производим оценку вариантов.

$$c_1 = \frac{D}{d} = \frac{10}{2} = 5, k = 1.3; \tau_1 = \frac{8PkD}{\pi d^3} = \frac{8 \cdot 15 \cdot 1,3 \cdot 10}{\pi \cdot 2^3} = 62,1$$

$$c_2 = \frac{D}{d} = \frac{20}{2,5} = 8; k = 1.2; \tau_2 = \frac{8PkD}{\pi d^3} = \frac{8 \cdot 15 \cdot 1,2 \cdot 10}{\pi \cdot 2,5^3} = 58,7$$

$$\lambda_2 = \frac{8c^3 n P}{Gd} = \frac{8 \cdot 8^3 \cdot 6.5 \cdot 15}{8000 \cdot 2.5} = 19.9. \text{ Второй вариант ближе к исходным данным.}$$

**Конструкция пружин сжатия с витками круглого сечения.** Пружины сжатия навиваются с просветами  $\delta_0 = t$  между витками, чтобы обеспечить возможность давать пружине требуемую осадку.

Характеристика пружины (рис. 10.2) вследствие неравномерности шага на конечном участке при нагрузках близких к  $P_{max}$  (т.е. к нагрузке, сжимающей пружину до соприкосновения витков), может оказаться непрямолинейной.

Для обеспечения прямолинейной характеристики  $P_{раб}$  не должно превышать  $(0,8 \div 0,9) P_{max}$ .

При максимальной рабочей нагрузке  $P_{раб} = P_{прео}$  зазор  $\delta_p$  между витками во избежание соприкосновения витков должен быть равен примерно  $0,1d$ .

Для создания надежной опоры торцовые витки на длине  $\frac{3}{4} \div 1$  витка поджимаются к соседним рабочим виткам, а затем шлифуются по торцу так, чтобы на длине  $\frac{3}{4}$  витка от концов образовалась опорная плоскость, перпендикулярная к оси пружины.

Поджатые торцовые витки практически не деформируются.

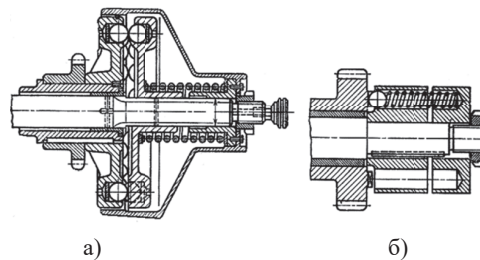
Длина пружины сжатой,

$$H = (n - 0,5) d,$$

где  $n = n_0 + (1,5 \dots 2)$ ; — полное число витков ( $n_0$  — рабочие и торцовые).

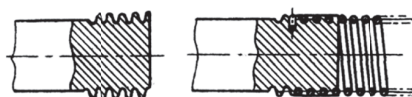
Пружины, у которых мера гибкости  $\frac{L_{max}}{D} > 2,5$ , при сжатии могут терять устойчивость — выпучиваться. Поэтому

рекомендуют пружины при гибкости  $\frac{L_{max}}{D} \geq 3$  монтировать внутренним диаметром на оправках или наружным диаметром в детали с отверстием (рис. 10.3).



**Рис. 10.3. Монтаж пружин при большой гибкости:**  
а — на «оправке», б — наружным диаметром в детали с отверстием

Конструкция универсального крепления (рис. 10.4) позволяет пружине сжатия работать на растяжение и сжатие, кручение и изгиб. Такое жесткое соединение выполняют на свертных пробках с резьбой, которая соответствует диаметру проволоки и шагу витков пружины. Закрепить пружину на пробке можно заправкой отогнутого конца проволоки пружины в предварительно просверленное отверстие в пробке, хомутом или прижимной планкой и др.



**Рис. 10.4. Пружина сжатия с прицепами для универсального крепления**



## 10.2.2. КОНСТРУКЦИЯ ПРУЖИНЫ РАСТЯЖЕНИЯ С ВИТКАМИ КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ

Пружины растяжения обычно навиваются закрытой навивкой (рис. 10.5), виток к витку, в результате создается предварительная сила натяжения  $P_0$ . На торцах пружины имеются захваты (прицепы) для соединения с рабочим органом устройства.

Пружина характеризуется наружным –  $D_{нар}$ , внутренним –  $D_{вн}$  и средним –  $D$  диаметрами; длиной в свободном состоянии –  $L_{сж}$  (нагрузка  $P_1$ ), установочной длиной –  $L_{уст}$ , которая соответствует исходному положению конструкции (нагрузка  $P_{уст}$ ), длиной рабочего хода –  $L_{раб}$ , которая соответствует перемещению конструкции под действием упругих сил пружины –  $P_{раб}$ , предельной длиной растяжения –  $L_{max}$ , при достижении которой пружина может потерять свои упругие свойства (нагрузка  $P_{max}$ ).

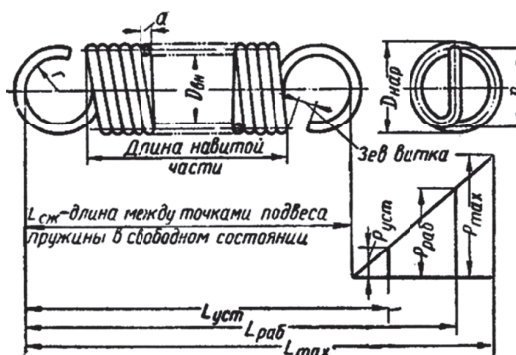


Рис. 10.5. Пружина растяжения

Основные зависимости:  $L_{уст} = nd + 2h$ ;  $h = (0,5 \dots 1)D_{нар}$ .

Витки пружины растяжения навиваются плотно один к другому, и между ними возникает первоначальное усилие натяжения  $P_1$ .

Зависимость  $P_1$  от предельной нагрузки  $P_{пред} = P_{раб}$  установлена эмпирически. Рекомендуют принимать

$$\text{при } d < 5 \text{ мм } P_1 \approx \frac{P_{пред}}{3};$$

$$\text{при } d > 5 \text{ мм } P_1 \approx \frac{P_{пред}}{4}.$$

Ориентировочно напряжения можно принимать равными  $\sigma_1 = 180 \pm 20 \text{ Н/мм}^2$ .

При рабочей нагрузке  $P_{раб}$  напряжение в опасной точке пружины должно быть равно примерно допускаемому напряжению  $P_{раб} = P_{пред}$ . Может быть допущена некоторая перегрузка пружины до  $P_{max}$ . Связь между  $P_{раб}$  и  $P_{max}$  устанавливается зависимостью

$$P_{max} = \frac{P_{раб}}{1 - \delta_u},$$

где  $\delta_u = L_{max} - L_{раб}$  – относительный инерционный зазор пружины сжатия. Этот зазор для пружины растяжения служит ограничением максимального перемещения (растяжения). Для пружин сжатия I и II классов  $\delta_u = 0,05 \dots 0,25$ . Для пружин растяжения  $\delta_u = 0,05 \dots 0,10$ .

$$L_{сж} = nd + (1 \div 2) D,$$

где  $nd$  – длина, занятая витками;

$(1 \div 2) D$  – длина захватов (в зависимости от вида).

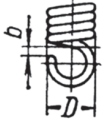
Длина проволоки, идущей на изготовление пружины

$$L = \pi D(n + 1) + l_{пр},$$

где  $l_{пр}$  – длина заготовки для прицепов.

Размеры прицепов приведены в табл. 10.10.

Размеры прицепов пружины растяжения (мм)

|  | D   | b   | D  | b  | D  | b  | D  | b  | D  | b  |
|---|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|   | 2   | 1   | 6  | 2  | 14 | 4  | 25 | 8  | 45 | 15 |
|   | 2,5 | 1   | 7  | 2  | 16 | 5  | 28 | 9  | 50 | 17 |
|   | 3   | 1   | 8  | 3  | 18 | 6  | 32 | 10 | 55 | 18 |
|   | 4   | 1,5 | 10 | 3  | 20 | 7  | 36 | 12 | 60 | 20 |
| 5   | 2   | 12  | 4  | 22 | 7  | 40 | 13 | 65 | 22 |    |

**Методика подбора пружины растяжения с помощью таблицы 10.9.** Например, для работы конструкции требуется пружина растяжения с рабочей нагрузкой 15 кГс и установочной – 5 кГс, при деформации  $\lambda=50$  мм. ( $[\tau]_{\max} = 60$  кГс).

$$\text{Определяем } P_{10} = 15 \frac{10}{60} = 2,5 \text{ кГс.}$$

По табл. 10.9 находим:

1)  $P_{10} = 2,44$  кГс;  $d = 2$  мм;  $D = 10$  мм;  $\lambda_1 = 0,063$  мм.

2)  $P_{10} = 2,16$  кГс;  $d = 2,5$  мм;  $D = 25$  мм;  $\lambda_1 = 0,4$  мм.

Определяем число витков для каждого случая.

$$n_1 = \frac{\lambda}{\lambda_1(P_{\text{раб}} - P_{\text{уст}})} = \frac{50}{0,063 \cdot (15 - 5)} = 79,3 \quad n_2 = \frac{\lambda}{\lambda_1(P_{\text{раб}} - P_{\text{уст}})} = \frac{50}{0,4 \cdot (15 - 5)} = 12,5.$$

$$P_{01} = \frac{\pi d^3}{8kD} [\tau_0] = \frac{\pi 2^3}{8 \cdot 1,3 \cdot 10} 20 = 4,8 \text{ кГс,}$$

$$P_{02} = \frac{\pi d^3}{8kD} [\tau_0] = \frac{\pi 2,5^3}{8 \cdot 1,1 \cdot 25} 20 = 4,45 \text{ кГс.}$$

$$c_1 = 5; k = 1,3; \tau_1 = \frac{8(P - P_0)kD}{\pi d^3} = \frac{8 \cdot 11 \cdot 1,3 \cdot 10}{\pi \cdot 2^3} = 45,5$$

$$c_2 = 10; k = 1,1; \tau_2 = \frac{8PkD}{\pi d^3} = \frac{8 \cdot 11 \cdot 1,1 \cdot 25}{\pi \cdot 2,5^3} = 49,4.$$

Предельная нагрузка на пружину

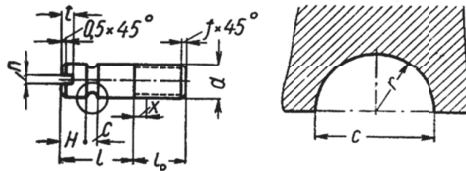
$$P_{\max} = \frac{\pi d^3}{8kD} [\tau]_{\max} = \frac{\pi 2^3}{8 \cdot 1,3 \cdot 10} 60 = 14,5 \text{ кГс.}$$

По расчету оба варианта работоспособны.

**Конструкция крепления пружин растяжения.** Для крепления к деталям конструкции пружин растяжения применяют промежуточные детали: серьги, кронштейны, шпильки и специальные винты (табл. 10.11 и 10.12).

## Винты для пружин

## Профиль канавки

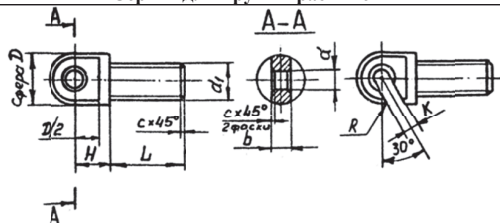


|                              |             |                |      |      |      |      |
|------------------------------|-------------|----------------|------|------|------|------|
| Диаметр резьбы, d            |             | 3              | 4    | 5    | 6    | 8    |
| Шаг резьбы, P                |             | 0,5            | 0,7  | 0,8  | 1,0  | 1,25 |
| c                            | Номин.      | 1,5            |      | 2,5  |      | 3,5  |
|                              | Пред. откл. | -0,2           |      |      |      |      |
| r                            | Номин.      | 0,6            |      | 1,0  |      | 1,5  |
|                              | Пред. откл. | ±0,1<br>±0,2   |      |      |      |      |
| H, не менее                  |             | 2,0            | 2,5  | 3,0  |      | 4,0  |
| Ширина шлица, n              | Номин.      | 0,5            | 0,5  | 0,6  | 1,0  | 1,2  |
|                              | Пред. откл. | +0,20<br>+0,06 |      |      |      |      |
| Глубине, шлица, t            | не менее    | 1,25           | 1,75 | 2,00 | 2,50 | 3,1  |
|                              | не более    | 1,50           | 2,05 | 2,35 | 2,90 | 3,60 |
| f                            | Номин.      | 0,5            | 0,7  | 0,8  | 1,0  | 1,2  |
|                              | Пред. откл. | ±0,1<br>±0,2   |      |      |      |      |
| Допуск, T                    |             | 0,5            | 0,6  |      |      |      |
| Длина резьбы, l <sub>0</sub> | Номин.      | 5              | 6    | 7,0  | 9,0  | 12   |
|                              | Пред. откл. | +1             | +1,4 | +1,6 | +2   | +2,5 |
| Сбег X                       |             | 0,8            | 1    | 1,2  | 1,5  | 1,8  |
| Длина l                      |             | 5÷10           | 5÷15 | 8÷18 | 8÷25 | 8÷25 |

Примечание. Размер L в указанных пределах брать из следующего ряда чисел: 5, 8, 10, 12, 15, 18, 22, 26. Материал – Сталь 35 ГОСТ 1050-74. Покрытие – Хим. Окс. Прм. (05).

Таблица 10.12

## Серьги для пружин растяжения



|                                |             |       |     |     |     |      |
|--------------------------------|-------------|-------|-----|-----|-----|------|
| d под пружину                  | Номин.      | 1,5   | 2,0 | 2,5 | 3,0 | 4,0  |
|                                | Пред. откл. | +0,2  |     |     |     |      |
| Диаметр резьбы, d <sub>1</sub> |             | M3    | M4  | M5  | M6  | M8   |
| Шаг резьбы, P                  |             | 0,5   | 0,7 | 0,8 | 1   | 1,25 |
| D                              |             | 5     | 6   | 7   | 8   | 10   |
| b                              |             | 1,5   | 2   | 2,5 | 3   | 4    |
| H                              |             | 3,5   | 4   | 5   | 6   | 8    |
| K                              | Номин       | 1,2   | 1,5 | 2   | 2,5 | 3    |
|                                | Пред. откл. | +0,1  |     |     |     |      |
| C                              |             | 0,5   |     | 1,0 |     | 1,6  |
| R                              |             | 1,0   |     | 1,5 |     | 2,0  |
| Длина L,                       | Номин       | 5     | 6   | 7,5 | 9   | 12   |
|                                | Пред. откл. | + 1,0 |     |     |     |      |

Примечание. Материал – Сталь 35 ГОСТ 1050-74. Покрытие – Хим. Окс. Прм. (05).

На рис.10.6 приведен способ крепления пружин растяжения при помощи металлических пластинок (рис. 10.6, а) с отверстиями, расположение которых соответствует диаметру пружины и проволоки. Эти прицепы применяют для пружин из проволоки диаметром 0,2 ÷ 4,0 мм.

Наиболее надежен прицеп на свертных пробках (рис. 10.6, б), на поверхности которых выполнена резьба, соответствующая диаметру пружины и проволоки пружины. Винтовая пробка захватывает 1,5–2,5 витка пружины. Можно согласиться для пробок. Прицепы на резьбе ввертывают в эти пробки. Такое крепление применяют для пружин растяжения из проволоки диаметром более 5 мм.

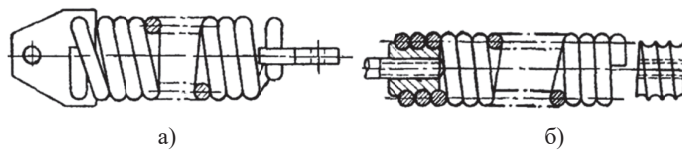


Рис. 10.6. Крепление пружин растяжения:  
а – металлическими пластинками; б – на ввертных пробках

Иногда взамен пружин растяжения используются пружины сжатия, снабженные специальными прицепами (рис. 10.7).

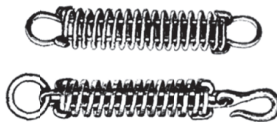


Рис. 10.7. Пружины сжатия с конструкцией прицепов под пружины растяжения

### 10.3. ПРУЖИНЫ ВИНТОВЫЕ КРУЧЕНИЯ С ВИТКАМИ КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ

Пружины кручения с витками круглого сечения навиваются с малым углом подъема и с небольшими просветами  $\delta$  между витками ( $\delta \approx 0,5 \text{ мм}$ ). Концы прутка отгибаются в сторону (рис. 10.8) с тем, чтобы можно было сформировать прицепы, необходимые для передачи пружиной момента.

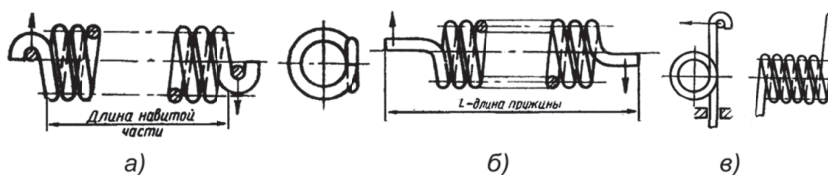


Рис. 10.8. Пружины кручения с витками круглого сечения (варианты крепления):  
а – закругленные, б – осевые; в – комбинированные

Длина пружины

$$L = n(d + \delta) + L_{пр}$$

где  $L_{пр}$  – длина пружины по оси, занимаемая прицепами.

Длина заготовки

$$l = \frac{\pi D n}{\cos \alpha} + l_{пр}$$

где  $l_{пр}$  – длина заготовки для прицепов.

**Расчет винтовых цилиндрических пружин кручения.** При работе у пружин кручения в поперечных сечениях витков возникает момент  $M$ ,  $\text{Н}\cdot\text{мм}$ , (рис. 10.9), равный внешнему моменту, закручивающему пружину, вектор которого направлен вдоль осевой линии пружины.

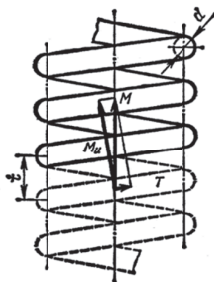


Рис. 10.9. Схема сил, действующих при работе пружин кручения

При разложении момента  $M$  по осевой линии витка пружины и перпендикулярному ему направлению в поперечном сечении витка пружины возникают крутящий момент

$$T = M \sin \alpha$$

и изгибающий момент

$$M_u = M \cos \alpha.$$

Так как изгибающий момент  $M_u$  значительно превышает крутящий момент  $T$  (обычно угол  $\alpha < 12^\circ$ – $15^\circ$ ), то пружины кручения рассчитывают только на изгиб по изгибающему моменту, при этом приближенно принимают

$$M_u \approx M.$$

Таким образом, расчет винтовой цилиндрической пружины кручения с витками круглого сечения производят на изгиб по моменту  $M$ , закручивающему пружину:

$$\sigma_u = \frac{kM_{кон}}{0,1d^3} \leq [\sigma]_u,$$

где  $\sigma_u$  – расчетное максимальное напряжение на изгиб в поперечных сечениях проволоки пружины;  $[\sigma]_u$  – допускаемое напряжение на изгиб проволоки пружины;  $k$  – коэффициент влияния кривизны витков.

$$[\sigma]_u = 1,25[\tau] \approx (0,6 \div 0,65) \cdot \sigma_B.$$

Для пружин из проволоки  $d < 6$  мм рекомендуют применять проволоку класса II. Проволока по ГОСТ 9389-75 для пружин от 0,2 до 5 мм. Для пружин из проволоки  $d > 6$  мм – сталь марки Сталь 60С2. Допускаемые напряжения проволоки на изгиб приведены в табл. 10.13.

Таблица 10.13

Допускаемые напряжения на изгиб проволоки для пружин кручения

| Материал проволоки           | Проволока Сталь 60С2 ГОСТ 14959-79 |         |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |
|------------------------------|------------------------------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|
|                              | $d$ в мм                           | 0,2÷0,5 | 0,6  | 0,8  | 1,0  | 1,2  | 1,6  | 2,0  | 2,5  | 3    | 4    | 5   | 6÷12 |
| $[\tau]$ , Н/мм <sup>2</sup> |                                    | 1210    | 1150 | 1100 | 1070 | 1040 | 1020 | 960  | 910  | 850  | 800  | 710 | 780  |
| $[\sigma]_u = 1,25 [\tau]$   |                                    | 1510    | 1440 | 1380 | 1340 | 1300 | 1280 | 1200 | 1140 | 1060 | 1000 | 890 | 970  |

Коэффициент влияния кривизны витков

$$k \approx \frac{4c-1}{4c-4},$$

где  $c = \frac{D-d}{d} \geq 4 \div 5$  – индекс пружины, принимаемый в зависимости от диаметра проволоки (в редких случаях  $3 \leq c \leq 4$ ).

Диаметр проволоки, в мм. (Формулой пользуются при проектном расчете пружины)

$$d = \sqrt[3]{\frac{kM_{кон}}{0,1[\sigma]_u}}.$$

Шаг витков пружины  $t$

$$t = d + \delta,$$

где  $\delta = 0,1 \div 0,5$  мм – зазор между витками.

Относительное угловое перемещение торцов пружины при  $\varphi < 12^\circ$  достаточно точно выражает формула

$$\varphi = M/Z,$$

где  $Z$  – жесткость пружины с витками круглого сечения

$$Z = \frac{EJ}{\pi Dn}.$$

В этом случае необходимое число рабочих витков пружины определяют по формуле (угол закручивания пружины  $\varphi$  в рад.).

$$n = \frac{E\pi\varphi^4 d^4}{64 \cdot 180 \cdot DM_{\text{кон}}}$$

где угол закручивания пружины  $\varphi$  в рад.

При заданном значении угла закручивания пружины  $\theta$  требуемое число рабочих витков пружины определяют по формуле

$$n = \frac{545\theta^3 d^3}{(M_{\text{кон}} - M_{\text{нач}})c}$$

При расчетах обычно принимают  $M_{\text{нач}} = (0,1 \div 0,5)M_{\text{кон}}$ , рабочий угол поворота торца пружины  $\theta$  в градусах (рис. 10.10). Предельно допустимый угол поворота торца пружины в градусах

$$\varphi_{\text{пред}} \approx \frac{cn[\sigma]_u}{50k}$$

Предельно допустимый крутящий момент пружины в Н·мм

$$M_{\text{пред}} = \frac{10d^3[\sigma]_u}{k}$$

Наибольший рабочий угол закручивания пружины в градусах

$$\varphi_{\text{кон}} = \frac{\varphi_{\text{пред}} M_{\text{кон}}}{M_{\text{пред}}}$$

Длина пружины

$$L = nt + 2h_{\text{пр}}$$

где  $h_{\text{пр}}$  – высота одного прицепа пружины.

Длину  $l$  проволоки для изготовления пружины определяют по формуле:

$$l = \frac{\pi Dn}{\cos \alpha} + l_{\text{пр}}$$

где  $l_{\text{пр}}$  – длина заготовки прицепов.

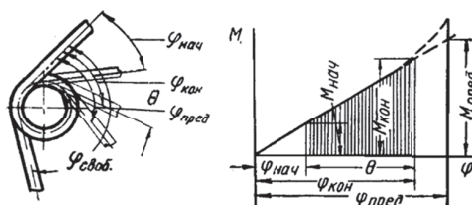


Рис. 10.10. Характеристика пружины кручения

Длинные пружины кручения необходимо проверять на устойчивость. При коэффициенте запаса устойчивости, примерно равном 2, предельно допустимый угол закручивания пружины в градусах может быть определен по эмпирической формуле

$$\varphi_{\text{пред}} = 123 \cdot \sqrt[4]{n}$$

Зависимость между моментом  $M$  и относительным углом  $\varphi$  закручивания пружины (характеристика пружины) представлена на рис. 10.10.

На характеристике пружины показан начальный момент  $M_{\text{нач}}$ , соответствующий исходному углу закручивания пружины  $\varphi_{\text{нач}}$ ;  $M_{\text{кон}}$  – наибольший рабочий момент (расчетный) в конце процесса нагружения пружины, соответствующий напряжению  $[\sigma]_u$ ;  $\varphi_{\text{кон}}$  – угол закручивания при  $M_{\text{кон}}$ ;

$M_{\text{нач}}$  – начальный рабочий момент (установочный), выбираемый в зависимости от назначения пружины;  $\varphi_{\text{нач}}$  – угол закручивания при  $M_{\text{нач}}$ ;  $M_{\text{пред}}$  – предельный момент (почти на пределе упругости);  $\varphi_{\text{пред}}$  – предельный угол закручивания, соответствующий  $M_{\text{пред}}$ .



Соотношение между  $\varphi_{\text{пред}}$  и  $\varphi_{\text{кон}}$  устанавливается условиями работы механизма машины в зависимости от выбранного  $[\sigma]_{\text{н}}$  (например, для пружин кручения сельскохозяйственных машин принимают  $\varphi_{\text{пред}} \approx 1,5 \div 2 \varphi_{\text{кон}}$ ). Дальнейшему закручиванию должны препятствовать специальные упоры.

Полная потенциальная энергия, накапливаемая пружиной кручения при деформации,

$$A = 0,5 M \varphi.$$

В пружинах, предварительно закрученных при установке, энергия, накапливаемая в процессе нагружения,

$$A = 0,5 (M_{\text{кон}} + M_{\text{нач}}) (\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}).$$

### Пример

Наибольший рабочий момент  $M_{\text{кон}} = 60$  Нм, соответствующий ему угол закручивания  $\varphi_{\text{кон}} = 60^\circ$ . Пружина неответственного назначения, работает в нормальных условиях при статической нагрузке. Заневоливание не производится.

1. Выбираем для пружины проволоку класса II (нормальной прочности) по ГОСТ 9389-75.
2. Для указанной проволоки и пружин неответственного назначения

$$[\sigma]_{\text{н}} = (0,6 \div 0,65) \sigma_s$$

При  $\sigma_s = 1000$  МПа

$$[\sigma]_{\text{н}} = (0,6 \div 0,65) \sigma_s = 600 \div 650 \text{ МПа}$$

Принимаем

$$[\sigma]_{\text{н}} = 500 \text{ МПа.}$$

3. Определяем размеры пружины  
По формуле

$$\sigma_u = \frac{kM}{0,1d^3} \leq [\sigma]_{\text{н}}.$$

Задаемся индексом пружины  $c = 6$ , то  $k = 1,15$

$$d = \sqrt[3]{\frac{kM_{\text{кон}}}{0,1[\sigma]_{\text{н}}}} = \sqrt[3]{\frac{1,15 \cdot 6000}{0,1 \cdot 500}} \approx 5,16 \text{ мм.}$$

Выбираем диаметр проволоки  $d = 5$  мм. Средний диаметр пружины  $D = cd = 30$  мм. Проволока  $d = 5$  мм класса II имеет  $[\sigma]_{\text{н}} = 890$  МПа.

4. Проведем поверочный расчет пружины на прочность:

$$\sigma_{u \text{ max}} = \frac{kM}{0,1d^3} = \frac{1,15 \cdot 6000}{0,1 \cdot 5^3} = 552 \text{ МПа} \leq [\sigma]_{\text{н}} = 890 \text{ МПа.}$$

5. Устанавливаем необходимое число рабочих витков пружины

$$n = \frac{E \pi \varphi^{\circ} d^4}{64 \cdot 180 D M_{\text{кон}}} = \frac{2,1 \cdot 10^6 \pi 60 \cdot 0,5^4}{64 \cdot 180 \cdot 3 \cdot 600} = 11,93 \text{ витков.}$$

Принимаем для пружины 12 витков.

6. Длина  $L_0$ , занятая рабочими витками, при зазоре между витками  $\delta = 0,5$  мм.

$$L_0 = n(d + \delta) = 12(5 + 0,5) = 66 \text{ мм.}$$

Наружный диаметр пружины

$$D_n = D + d = 30 + 5 = 35 \text{ мм.}$$

Внутренний диаметр пружины

$$D_6 = D - d = 30 - 5 = 25 \text{ мм.}$$

### 10.4. ПРУЖИНЫ ТАРЕЛЬЧАТЫЕ

Тарельчатые пружины применяют в основном при больших статических и динамических нагрузках. Эти пружины обладают высокой жесткостью, поэтому их целесообразно применять в тех случаях, когда требуется, чтобы пружина развивала значительные усилия при незначительных перемещениях.

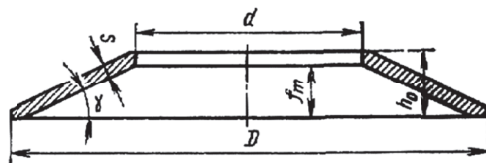


Рис. 10.11. Тарельчатая пружина

Конусные диски (тарелки) пружин (рис. 10.11) изготовляют из листовой стали (толщиной 0,5–10 мм) путем холодной или горячей штамповки. Угол подъема у конусов не превышает  $\gamma = 2-6^\circ$ . Высота  $h_0$  конуса обычно находится в пределах 2–9 мм.

Основным материалом пружин является Сталь 60С2А, но допускается применение пружинной стали других марок в виде листового или полосового проката при условии, что механические характеристики выбранного материала не ниже, чем у Стали 60С2А.

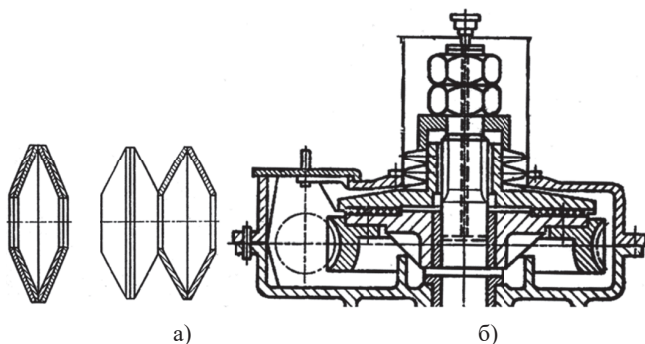


Рис. 10.12. Тарельчатые пружины:

а – варианты сборки комплектов пружин; б – применение пружин в редукторе

Тарельчатые пружины делят по точности их изготовления на две категории: Н – пружины нормальной точности и П – пружины повышенной точности, у которых поверхности обреза, получаемые после штамповки, подвергаются механической обработке.

Для получения требуемого усилия тарельчатые пружины составляются попарно, как показано на рис. 10.12, а, в комплекты, как витки у пружины сжатия. Комплекты монтируются на оправках или в стаканах (гильзах). На рис. 10.12, б показано применение тарельчатой пружины в червячном редукторе, имеющем фрикционное предохранительное устройство для ограничения предельной величины передаваемого момента.

По характеру нагрузки, для восприятия которой предназначена пружина, тарельчатые пружины делят на три группы: С – пружины статического действия; Д – пружины динамического действия; М – пружины многократного действия.

Для каждой из этих групп установлены особые правила испытаний и приемки.

По жесткости пружины делят на две категории: большой жесткости, для которых отношение максимально возможного (предельного) прогиба (осадки)  $f_m$  к толщине тарелки  $S$

$$\frac{f_m}{S} \leq 0,6$$

и малой жесткости, для которых

$$0,6 < \frac{f_m}{S} \leq 1,5.$$

Тарельчатые пружины имеют нелинейную характеристику, выражаемую при отношении диаметров диска  $m = \frac{D}{d} \geq 2,5$  следующей приближенной формулой:

$$P_2 \approx \frac{4ESf_2}{AD^2(1-\mu^2)} \left[ (f_m - f_2) \left( f_m - \frac{f_2}{2} \right) + S^2 \right],$$

где  $P_2$  – нагрузка пружины (усилие, развиваемое при сжатии, осадке  $f_2$ );  $E$  – модуль продольной упругости материала пружины;  $f_2$  – осадка пружины (одного диска) при рабочей нагрузке;  $A$  – коэффициент, имеющий в зависимости от отношения  $m$  диаметров пружины, следующие значения (табл. 10.14).

Таблица 10.14

| Значения коэффициента $A$ |      |      |      |
|---------------------------|------|------|------|
| $m$                       | 2,5  | 2,0  | 1,5  |
| $A$                       | 0,76 | 0,66 | 0,50 |

$\mu$  – коэффициент Пуассона материала пружины (обычно  $\mu \approx 0,3$ ).

**Подбор пружин по заданному усилию и прогибу (осадке)** производят по таблицам справочников по деталям машин. В табл. 10.15 (в сокращении) приведены данные для подбора тарельчатых пружин.

При этом, конечно, учитывают требования, предъявляемые к габаритным размерам выбираемой пружины.

Если каждый из дисков выбранной пружины должен давать осадку, составляющую 0,65 или 0,8 от предельно возможной, т. е. при  $f_2 = 0,65 f_m$  или  $f_2 = 0,8 f_m$ , то усилия  $P_2$ , соответствующие указанным осадкам, приведены в таблицах справочников и табл. 10.15. Фактическое усилие, развиваемое пружиной при данной осадке, может отличаться от указанного в справочнике на  $\pm 20\%$  для пружин нормальной и на  $\pm 10\%$  для пружин повышенной точности. При подборе пружин для статической нагрузки следует исходить из того, чтобы осадка каждой тарелки не превышала  $0,8 f_m$  (лучше даже  $0,7 f_m$ ). При динамической нагрузке максимально допустимой осадкой считают  $f_{2max} \leq 0,65 f_m$ .

Тарельчатые пружины на прочность не рассчитываются.

Таблица 10.15

Параметры тарельчатых пружин (в сокращении)

| D                                | d    | S   | $f_m$ | $h_o$ | Усилия при прогибе, кгс |                 |                                | D   | d    | S   | $f_m$ | $h_o$ | Усилия при прогибе, кгс |                 |                  |
|----------------------------------|------|-----|-------|-------|-------------------------|-----------------|--------------------------------|-----|------|-----|-------|-------|-------------------------|-----------------|------------------|
|                                  |      |     |       |       | $f = f_m$               | $f_2 = 0,8 f_m$ | $f_2 = 0,65 f_m$               |     |      |     |       |       | $f = f_m$               | $f_2 = 0,8 f_m$ | $f_2 = 0,65 f_m$ |
| мм                               |      |     |       |       | $P_m$                   | $P_2$           | мм                             |     |      |     |       | $P_m$ | $P_2$                   |                 |                  |
| <i>Пружины большой жесткости</i> |      |     |       |       |                         |                 | <i>Пружины малой жесткости</i> |     |      |     |       |       |                         |                 |                  |
| 23                               | 12   | 1,5 | 0,8   | 2,3   | 500                     | 410             | 350                            | 30  | 15   | 1,0 | 1,0   | 2,0   | 170                     | 150             | 140              |
| 30                               | 15   | 2,0 | 0,6   | 2,6   | 830                     | 670             | 550                            | 35  |      | 1,5 |       |       | 2,5                     | 380             | 330              |
| 32                               | 10   |     | 0,9   | 2,9   | 910                     | 750             | 610                            | 40  | 20   | 1,0 | 1,5   | 140   | 140                     | 130             |                  |
| 35                               | 20   | 0,8 | 2,8   | 900   | 720                     | 600             | 45                             | 25  | 1,5  | 3,5 | 3,0   | 400   | 350                     | 320             |                  |
| 40                               |      | 1,0 | 3,0   | 730   | 620                     | 520             | 50                             | 20  | 2,0  | 1,5 | 3,5   | 630   | 530                     | 460             |                  |
| 45                               | 25   | 0,8 | 3,3   | 1500  | 1200                    | 990             | 55                             | 25  | 1,5  |     | 3,0   | 300   | 250                     | 240             |                  |
|                                  |      | 1,0 | 3,5   | 1250  | 1000                    | 840             |                                |     | 2,0  | 3,5 | 550   | 480   | 410                     |                 |                  |
| 50                               | 20   | 2,2 | 1,3   | 3,5   | 730                     | 610             | 510                            | 60  | 30   | 1,5 | 2,0   | 4,0   | 590                     | 530             | 480              |
|                                  | 30   | 1,0 | 4,0   | 1850  | 1500                    | 1250            | 65                             | 2,5 |      | 3,5 | 270   | 270   | 250                     |                 |                  |
| 55                               | 24   | 3,0 | 1,4   | 4,4   | 1700                    | 1400            | 1150                           | 70  | 30   | 2,0 | 2,5   | 4,5   | 1020                    | 880             | 760              |
|                                  |      |     | 1,5   | 4,0   | 1050                    | 900             | 760                            |     |      | 2,0 | 2,0   | 5,0   | 540                     | 510             | 480              |
| 60                               | 20   | 2,5 | 1,5   | 4,0   | 830                     | 700             | 580                            | 80  | 35   | 3,0 | 2,5   | 5,5   | 1400                    | 1200            | 1050             |
|                                  | 26   | 3,8 | 1,4   | 5,2   | 2900                    | 2300            | 1900                           |     |      |     |       |       | 100                     | 2,0             |                  |
|                                  | 30   | 3,0 | 1,5   | 4,5   | 1700                    | 1400            | 1150                           | 110 | 4,0  | 3,0 | 7,0   | 2450  |                         | 2100            | 1850             |
|                                  | 35   | 3,5 |       | 5,0   | 2600                    | 2100            | 1750                           |     | 50   |     | 2,5   | 3,5   | 6,0                     | 780             | 740              |
| 65                               | 32   | 3,0 | 1,5   | 4,5   | 1400                    | 1100            | 950                            | 120 | 50   | 2,5 | 3,5   | 6,0   | 780                     | 740             | 740              |
|                                  | 35   | 3,5 | 1,5   | 5,0   | 2300                    | 1900            | 1550                           |     | 60   | 4,0 | 3,5   | 7,5   | 2800                    | 2400            | 2100             |
| 70                               | 26   | 5,0 | 1,1   | 6,1   | 3500                    | 2800            | 2300                           | 130 | 50   | 5,0 | 3,5   | 8,5   | 3900                    | 3300            | 2800             |
|                                  | 28   | 3,8 | 1,8   | 5,6   | 2600                    | 2100            | 1750                           |     | 60   | 3,0 | 4,5   | 7,5   | 1200                    | 1200            | 1200             |
|                                  | 40   | 4,0 | 1,5   | 5,5   | 3100                    | 2500            | 2100                           |     | 60   | 4,0 | 4,0   | 8,0   | 2500                    | 2200            | 2000             |
| 80                               | (26) | 4,3 | 1,8   | 6,1   | 2800                    | 2300            | 1900                           | 140 | (38) | 5,0 | 3,4   | 8,4   | 3100                    | 2600            | 2200             |
|                                  | 28   | 5,0 | 1,5   | 6,5   | 3700                    | 2900            | 2400                           |     | 60   | 3,5 | 5,0   | 8,5   | 1700                    | 1700            | 1650             |
|                                  | 32   | 7,0 | 1,0   | 8,0   | 6900                    | 5500            | 4500                           | 150 | 60   | 6,0 | 4,0   | 10,0  | 5700                    | 4800            | 4100             |
|                                  | 36   | 3,7 | 2,0   | 5,7   | 2100                    | 1750            | 1500                           |     | 70   | 3,5 | 5,0   | 8,5   | 1550                    | 1550            | 1500             |
|                                  | 40   | 4,0 | 2,0   | 6,0   | 2800                    | 2300            | 1950                           |     | 50   | 6,0 | 4,0   | 10,0  | 4700                    | 3900            | 3400             |
| 90                               | 50   | 5,0 | 1,5   | 6,5   | 5100                    | 4100            | 3400                           | 160 | 60   | 6,0 | 4,5   | 10,5  | 5500                    | 4700            | 4100             |
|                                  | 25   | 5,0 | 2,0   | 7,0   | 3800                    | 3100            | 2500                           |     | 70   | 4,0 | 5,5   | 9,5   | 2200                    | 2100            | 2000             |
|                                  | (26) | 4,5 | 2,2   | 6,7   | 3000                    | 2500            | 2100                           | 180 | 70   | 7,0 | 4,5   | 11,5  | 7900                    | 6600            | 5600             |
|                                  | 32   | 4,0 | 2,3   | 6,3   | 2300                    | 1900            | 1600                           |     | 80   | 4,0 | 6,0   | 10,0  | 2100                    | 2100            | 2100             |
| 40                               | 4,5  | 2,5 | 7,0   | 3800  | 3100                    | 2600            |                                | 80  | 8,0  | 5,0 | 13,0  | 10500 | 8600                    | 7300            |                  |

|     |    |     |     |     |       |      |      |     |     |      |     |      |       |       |       |
|-----|----|-----|-----|-----|-------|------|------|-----|-----|------|-----|------|-------|-------|-------|
|     | 50 | 5,0 | 2,0 | 7,0 | 4800  | 3900 | 3200 | 180 | 90  | 5,0  | 7,0 | 12,0 | 3800  | 3700  | 3600  |
|     | 50 | 6,0 | 2,0 | 8,0 | 8300  | 6700 | 5500 | 200 | 80  | 8,0  | 6,0 | 14,0 | 9700  | 8300  | 7200  |
|     | 36 | 4,8 | 2,5 | 7,3 | 3500  | 2800 | 2400 |     | 90  | 9,0  | 5,5 | 14,5 | 13500 | И 100 | 9400  |
|     | 40 | 6,0 | 2,2 | 8,2 | 6100  | 4900 | 4100 |     | 100 | 5,0  | 7,5 | 12,5 | 3200  | 3200  | 3200  |
| 100 | 50 | 5,0 | 2,5 | 7,5 | 4500  | 3600 | 3000 | 220 | 90  | 9,0  | 6,5 | 15,5 | 12500 | 10500 | 9100  |
|     | 50 | 6,0 | 2,5 | 8,5 | 7600  | 6200 | 5200 |     | 100 | 6,0  | 8,0 | 14,0 | 4700  | 4500  | 4400  |
|     | 60 | 7,0 | 2,0 | 9,0 | 11500 | 9200 | 7500 |     |     | 7,0  | 9,0 | 16,0 | 6200  | 5900  | 5600  |
| 110 | 50 | 5,0 | 3,0 | 8,0 | 4200  | 3400 | 2900 | 250 | 100 | 10,0 | 7,5 | 17,5 | 15000 | 13000 | 11000 |
|     | 60 | 7,0 | 2,5 | 9,5 | 10500 | 8600 | 7100 |     |     |      |     |      |       |       |       |

Примечание. Размеры, указанные в скобках, не рекомендуются.

Обозначения:  $P_m$  – усилие при наибольшем прогибе  $f = f_m$ ;  $P_1$  – усилие при предварительном поджатии;  $f_1$  – прогиб при усилнии  $P_1$ ;  $P_2$  – наибольшее рабочее усилие;  $f_2$  – прогиб при усилнии  $P_2$ ;  $P = 1 \text{ кгс} = 9,81 \text{ Н}$ .

**Методика подбора тарельчатых пружин с помощью табл. 10.15.** Например, требуется подобрать тарельчатую пружину на усилие 720 кгс при ходе пружины  $\lambda = 5 \div 6 \text{ мм}$ . Наружный диаметр пружины 70 мм.

По табл. 10.15 находим пружину малой жесткости с  $D = 65 \text{ мм}$ , развивающая при прогибе одного диска  $f_2 = 0,65 f_m = 0,65 \times 2 = 1,3$  усилие  $P_2 = 740 \text{ кгс}$ . Это несколько больше требуемого. Поэтому выберем меньший прогиб диска, а именно  $f_2 = 0,6 f_m = 0,6 \times 2 = 1,2 \text{ мм}$ .

Требуемое число дисков при  $\lambda = 6 \text{ мм}$

$$n = \frac{\lambda}{f_2} = \frac{6}{1,2} = 5.$$

Учитывая, что модуль продольной упругости  $E = 2,2 \cdot 10^4 \text{ кгс/мм}^2$ , коэффициент Пуассона  $\mu = 0,3$  и  $A = 0,7$  при  $m = 2,17$ , остальные данные берут из таблицы 10.15.

Усилие, развиваемое пружиной при прогибе каждого диска  $f_2 = 1,2 \text{ мм}$ , определяют по формуле:

$$P_2 \approx \frac{4ESf_2}{AD^2(1-\mu^2)} \left[ (f_m - f_2)(f_m - \frac{f_2}{2}) + S^2 \right] = \frac{4 \cdot 2,2 \cdot 10^4 \cdot 2,5 \cdot 1,2}{0,7 \cdot 65^2 (1 - 0,3^2)} \left[ (2 - 1,2) \left( 2 - \frac{1,2}{2} \right) + 2,5^2 \right] = 722 \text{ кгс}.$$

### 10.5. ПРУЖИНЫ ПЛОСКИЕ ЛЕНТОЧНЫЕ И РЕССОРЫ

Ленточные плоские пружины находят широкое применение в различных сборочных единицах машин и приборов в качестве стопоров, ограничителей, фиксаторов, прижимов и др. устройств (рис. 10.13. поз.2).

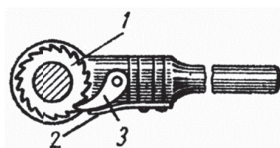


Рис. 10.13. Пример конструкции трещотки с плоской пружиной: 1 – колесо; 2 – прижим (плоская пружина); 3 – фиксатор (собачка)

Ленточные плоские пружины могут быть изготовлены из стальной, бронзовой и латунной пружинной ленты. Как правило, один конец пружины имеет жесткую заделку, а другой используется, с учетом пружинных свойств, для функционального назначения, например прижимные пружины в храповых механизмах (трещотках), муфтах со змеевидной пружиной и др.

**Расчет плоской пружины.** Максимально допустимая нагрузка на пружину и вызванная при этом ее деформация могут быть определены по формулам в зависимости от основных параметров плоской пружины (рис. 10.14).

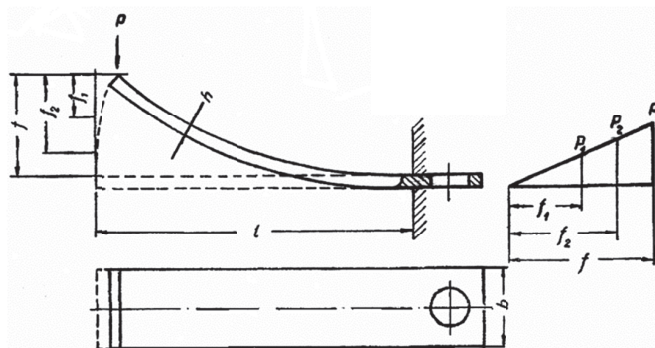


Рис. 10.14. Схема деформации плоской пружины под нагрузкой:

$f_1$  – деформация в мм пружины при нагрузке  $P_1$ ;  $f_2$  – деформация в мм пружины при нагрузке  $P_2$ ;  $f$  – деформация в мм пружины при нагрузке  $P$ ;  $l$  – длина пружины в мм

$P_1$  и  $P_2$  – рабочие нагрузки в Н;  $P$  – максимально допустимая нагрузка на пружину в Н;  $[\sigma]_{из}$  – допускаемое напряжение при изгибе в Н/мм<sup>2</sup>.

$$P = \frac{bh^2[\sigma]_{из}}{6l};$$

$$f = \frac{4l^3P}{bh^3E} = \frac{2l^2[\sigma]_{из}}{3hE},$$

где обозначения параметров приведено на рис. 10.14,  $E$  — модуль упругости (для стали  $E \approx 210$  кН/мм<sup>2</sup>).

#### Пример расчета плоской пружины

Нагрузка на пружину  $P = 10$  Н; длина пружины  $l = 70$  мм. Требуется определить размеры сечения пружины и деформацию.

Выбираем ленту холоднокатаную из Стали 65Г с допускаемым напряжением при изгибе  $[\sigma]_{из} = 700$  Н/мм<sup>2</sup>;  $E \approx 210$  кН/мм<sup>2</sup>.

Находим ширину ленты  $b$  из формулы

$$P = \frac{bh^2[\sigma]_{из}}{6l}.$$

Толщину ленты  $h$  для пружины по конструктивным соображениям и согласно сортаменту на пружинную ленту выбираем равной 0,8 мм, тогда

$$b = \frac{6Pl}{h^2[\sigma]_{из}} = \frac{6 \cdot 10 \cdot 70}{0,8^2 \cdot 700} = 9,9 \text{ мм.}$$

Максимально допустимая деформация

$$f = \frac{2l^2[\sigma]_{из}}{3hE} = \frac{2 \cdot 70^2 \cdot 700}{3 \cdot 0,8 \cdot 210000} = 5,84 \text{ мм.}$$

Максимально допускаемое напряжение на изгиб для стали принимается равным

$$[\sigma]_{из} = 1,25 [\tau]_{кр},$$

где  $[\tau]_{кр}$  – максимально допускаемое напряжение на кручение.

Для повышения нагрузочной способности, жесткости, целесообразно применение пакета пружин трапецидальной формы с переменной толщиной (рис. 10.15).

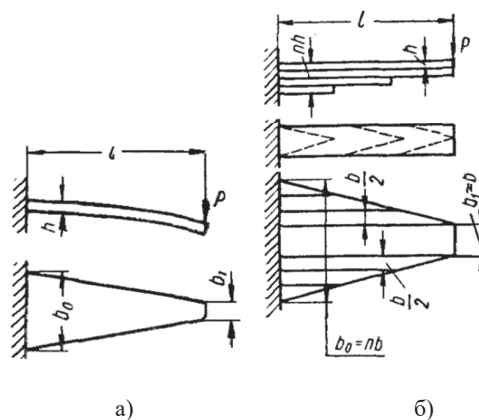


Рис 10.15. Схема для расчета пакета пружин трапецидальной формы и рессор

Для простой рессоры постоянной толщины и трапецидальной формы (рис 10.15, а)

$$P = \frac{b_0 h^2 [\sigma]_{из}}{6l};$$

$$f = \varphi \frac{4l^3 P}{b_0 h^3 E} = \frac{2}{3} \varphi \cdot \frac{l^2}{h} \cdot \frac{[\sigma]_u}{E}.$$

Жесткость пружины

$$c = \frac{1}{4\varphi} \cdot \frac{b_0 h^3}{l^3} E.$$

Коэффициент использования материала пружины

$$\eta = \frac{1}{9} \cdot \frac{\varphi}{1 + \beta}, \text{ где } \beta = \frac{b_1}{b_0}.$$

Для заданного значения  $\beta$  коэффициент  $\varphi$  выбирается из табл. 10.16.

Таблица 10.16

Значения  $\beta$  и  $\varphi$  для расчета рессор

| $\beta$   | 0   | 0,1  | 0,2   | 0,3  | 0,4   | 0,5   | 0,6   | 0,7   | 0,8   | 0,9   | 1,0   |
|-----------|-----|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $\varphi$ | 1,5 | 1,39 | 1,315 | 1,25 | 1,202 | 1,160 | 1,121 | 1,085 | 1,054 | 1,025 | 1,060 |

В рессорном пакете (рис. 10.15, б) отдельные листы могут иметь одинаковую или разную толщину. Сначала по характеристике определяют размеры простой рессоры трапециевидальной формы. Ширина  $b_0$  основания этой рессоры (рис. 10.15, а), деленная на предполагаемую ширину одного рессорного листа, дает число необходимых рессорных листов  $n$  ( $n = b_0 / b_l$ ).

Рессоры, составленные из листов различной толщины, применяются в шасси автомобилей. Для расчета таких рессор служат следующие формулы:

Значение допускаемой нагрузки

$$P = \frac{W}{l} [\sigma]_u = \frac{1}{6} \frac{b_0 h^2}{l} [\sigma]_u = \frac{1}{6} \frac{nbh^2}{l} [\sigma]_u.$$

Жесткость рессоры

$$c = \frac{1}{4\varphi} \frac{nbh^3}{l^3} E.$$

Деформация при нагрузке

$$f = \varphi \frac{Pl^3}{3EJ} = 4\varphi \frac{l^3}{nbh^3} \cdot \frac{P}{E} = \frac{2}{3} \varphi \frac{l^2 [\sigma]_u}{hE}.$$

$$b_1 = b, \quad \beta = \frac{b_1}{b_0} = \frac{1}{n}.$$

Коэффициент использования материала пружин в рессоре

$$\eta = \frac{1}{9} \cdot \frac{\varphi}{1 + \beta}.$$

## 10.6. ПРУЖИНЫ ПЛОСКИЕ СПИРАЛЬНЫЕ ЛЕНТОЧНЫЕ

**Конструкция и назначение.** Плоские спиральные ленточные пружины (рис. 10.16), заводные пружины широко применяются в конструкциях различных механизмов и приборов (например, в часовых и т. п. механизмах).

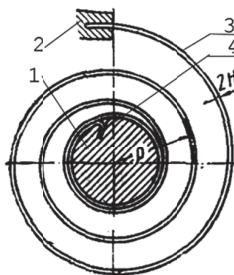
Спиральные пружины применяются в качестве заводных пружин (в часах); их обычно заключают в обойму (барaban) для обеспечения смазки и придания пружине определенных внешних формы и размеров.

Наружный конец спиральной ленточной пружины крепят в заделке или к внутренней поверхности барабана, имеющей размер радиуса  $R$ .

Внутренний конец пружины укрепляют на заводном валике, имеющем размер радиуса  $r$ . Крепление внутреннего конца (на валике) осуществляется обычно при помощи выступа (зацепа), который захватывает пружину за пробитое в ней отверстие, расположенное посередине ленты.

Также как и винтовые пружины кручения плоские спиральные ленточные пружины используют упругие свойства металла для накопления энергии при спиральной навивке ленты на вал. Пружину изготавливают из высококачественной углеродистой стальной ленты, обладающей большой прочностью и достаточной пластичностью; при навивке ленты на оправку витки последовательно накладываются и плотно прилегают друг к другу. Предварительно концы ленты отжигают для возможности их крепления.





**Рис. 10.16. Плоская спиральная пружина:**  
1 и 2 – места заделки концов пружины; 3 – плоская пружина; 4 – зацеп

Уравнение оси пружинной ленты, плотно навитой на валик, в полярных координатах (уравнение архимедовой спирали)

$$\rho = \frac{H}{\pi} \varphi,$$

где  $\rho$  – текущий полярный радиус;  $\varphi$  – полярный угол;  $H = h/2$  – толщины ленты.

Начальный радиус  $\rho_1$  в исходной точке равен радиусу  $r = d/2$  валика, на котором закрепляют внутренний конец пружины (рис. 10.16).

Конечный радиус  $\rho_2$  в конечной точке равен радиусу  $R$  барабана, на внутренней поверхности которого закрепляют наружный конец спиральной ленточной пружины:

Начальный радиус  $\rho_1$  и конечный  $\rho_2$  не отоженной рабочей части ленты, образующей спираль, соответствуют углам  $\varphi_1$  и  $\varphi_2 = 2\pi n + \varphi_1$ , где  $n$  – число оборотов спирали пружины:

$$n = \frac{\rho_2 - \rho_1}{h}.$$

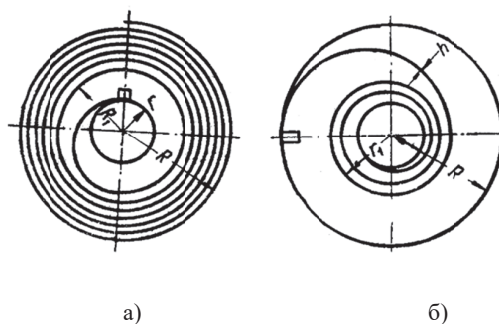
Длина рабочей части ленты пружины

$$l \approx \pi(\rho_2 + \rho_1)n.$$

Длина развернутой пружины, мм.

$$L \approx \pi(\rho_2 + \rho_1)n + \pi d.$$

где  $d$  – диаметр валика, мм.



**Рис. 10.17. Плоская спиральная пружина в барабане:**  
а – спущенная; б – заведенная

Параметрами пружины  $R$  и  $n$  обычно задаются конструктивно (рис. 10.17).

Толщину  $h$  ленты пружины выбирают из условия  $h \leq \frac{r}{15}$ , которым учитывают, что наибольшие напряжения испытывают первые к валику витки пружины.

При расчете пружины рекомендуют применять соотношение:  $r = \frac{R}{3}$ .

В этом случае:

Расчетное число витков для заведенной пружины на валике:  $n_{\max} = n_2 - n_0$ ,

где  $n_2$  – число витков для заведенной пружины в барабане на валике:  $n_2 = 0,412 \frac{R}{h}$ ;

$n_0$  – число витков свободной пружины вне барабана:  $n_0 = (0,3 \div 0,372) n_2$ .  
 Расчетное число витков для спущенной пружины в барабане:  $n_{\min} = n_1 - n_0$ ,  
 где  $n_1$  – число витков для спущенной пружины в барабане:  $n_1 = 0,255 \frac{R}{h}$ .

Длина пружины:  $L = \pi R(1,745n_1 + 1,49)$

Толщину пружины  $h$  определяют по соотношениям:  $h = 0,157 \frac{R}{n_0}$ ;  $h \leq \frac{R}{15}$ ,

где  $n_0$  – рабочее число оборотов барабана,  $R$  – внутренний радиус барабана.

Рабочее число оборотов барабана при расчете следует увеличивать на  $0,5 \div 1,5$  для компенсации потерь на трение.

При  $r = R/3$  внешний радиус  $r_1$  заведенной пружины равен внутреннему радиусу  $R_1$  спущенной пружины:  $r_1 = 0,745R$ .

Для формообразования спирали, стабилизации формы и напряжений в материале спирали ленты, ее навивают почти плотно на вал, фиксируют в таком положении и выдерживают сутки и более, в зависимости от ответственности пружины (производят заневольвание). После этого в процессе длительного нагружения пружина не должна садиться. После заневольвания пружина в свободном (распущенном) состоянии принимает форму, напоминающую архимедову спираль.

**Расчет плоских спиральных заневольванных пружин.** При расчете предполагают, что механические характеристики материала пружинной ленты при растяжении и сжатии одинаковы. В сечении ленты на радиусе  $\rho$  ( $\rho_1 \leq \rho \leq \rho_2$ ) наибольшее относительное удлинение в крайнем волокне ленты

$$\varepsilon_{\max} = \frac{H}{\rho}.$$

Наибольшая деформация  $\varepsilon_{\max}$  и наибольшее напряжение будут при  $\rho = \rho_1$ :

$$\varepsilon_{\max} = \frac{H}{\rho_1} = \frac{2H}{d_e},$$

где  $d_e$  – диаметр валика (оправки).

Значение  $\varepsilon_{\max}$  должно быть меньше истинного относительного удлинения ленты при ее разрушении. Для часовых пружин обычно принимают

$$\varepsilon_{\max} = \frac{H}{\rho_1} = \frac{2H}{d_e} = \frac{1}{30} \div \frac{1}{32}.$$

Характеристика плоской спиральной пружины графически представляет зависимость между моментом на валике (оправке)  $M$  и углом его поворота  $\varphi$ .

$$M_{\max} = \frac{\pi E b h^3 n_{\max}}{6L},$$

где  $M_{\max}$  – максимальный момент на валике пружины, Н·мм;  $E$  – модуль упругости, МПа;  $b$  – ширина ленты пружины, мм;  $h = 2H$  – толщина ленты пружины;  $n_{\max}$  – расчетное число витков пружины на валике;  $L$  – длина развернутой пружины.

Напряжение на изгиб

$$\sigma_u = \frac{M_{\max}}{r b h} \leq [\sigma]_u,$$

где  $r$  – радиус валика, мм;  $[\sigma]_u$  – допускаемое напряжение на изгиб, МПа.

Минимальный момент на валике пружины, Н·мм.

$$M_{\min} = \frac{\pi E b h^3 n_{\min}}{6L} = M_{\max} \frac{n_{\min}}{n_{\max}},$$

$n_{\min}$  – расчетное число витков пружины на барабане.

Ширину пружины определяют по формуле:

$$b = \frac{6LM_{\min}}{\pi E h^3 n_{\min} \eta},$$

где  $\eta$  – КПД пружины, зависящий от смазки (табл. 10.17);  $L$  – длина развернутой пружины

$$L = \pi(R + r_1)n_1 + 2\pi r.$$

Теоретически для спиральной пружины, лента которой подвергается чистому изгибу,

$$\varphi = \frac{Ml}{EJ_x},$$

где  $l$  – развернутая рабочая длина ленты;

$$J_x = \frac{2BH^3}{3}.$$

Теоретическая характеристика пружины – прямая линия; действительная характеристика прямолинейна лишь в средней части (рис. 10.18), когда лента свободно деформируется на всем своем протяжении.



Рис. 10.18. Характеристика плоской спиральной пружины

В начале навивки часть витков ленты прилегает к барабану и в работе не участвует, в конце навивки значительная часть витков со скольжением принудительно плотно ложится на валик и дальше уже не деформируется; на этих участках характеристика пружины криволинейна. Из-за трения между витками характеристики энергии при нагрузке и разгрузке не совпадают. В результате площади, ограниченные этими кривыми, не равны, меньшая из которых соответствует полезной работе при разгрузке (разворачивании) пружины. Отношение этих площадей определяет величину КПД плоской спиральной пружины.

Эмпирически установлена зависимость КПД спиральных пружин от наличия и вида смазки в % (табл. 10.17).

Таблица 10.17

Значения КПД спиральных пружин от наличия и вида смазки в %

| Вид смазки                  | КПД, % |
|-----------------------------|--------|
| Касторовое масло с графитом | 70,4   |
| Машинное масло              | 68,6   |
| Касторовое масло            | 61,2   |
| Без смазки                  | 60,0   |

#### Пример расчета плоской спиральной пружины

Заводная пружина должна иметь:  $R = 21$ ;  $M_{\min} = 50$  кгмм;  $n = 7$  об.

Материал: сталь с модулем упругости  $E = 2,1 \cdot 10^6$  кг/мм<sup>2</sup>.

Смазка — касторовое масло с графитом.

1. Выбираем пружину нормальную

$$r = \frac{1}{3}R = \frac{21}{3} = 7 \text{ мм.}$$

2. Толщина пружины

$$h = 0,157 \frac{R}{n}.$$

Учитывая трение в начале и конце работы, добавляем к заданному  $n$  1 оборот, тогда

$$n = 7 + 1 = 8 \text{ об.}$$

$$\text{Определяем } h = 0,157 \frac{R}{n} = 0,157 \frac{21}{8} = 0,4.$$

Необходимое условие  $h \leq \frac{r}{15}$ , фактически  $\frac{r}{15} = \frac{8}{15} = 0,53 > 0,4$ , что удовлетворяет условию.

В противном случае необходимо было бы изменить исходные данные для расчета.

3. Число витков спущенной пружины в барабане

$$n_1 = 0,255 \frac{R}{h} = 0,255 \frac{21}{0,4} = 13,4 \text{ витков.}$$

4. Число витков заведенной пружины в барабане

$$n_2 = 0,412 \frac{R}{h} = 0,412 \frac{21}{0,4} = 21,4 \text{ витка.}$$

5. Число витков свободной пружины (вне барабана)

$$n_0 = (0,3 \div 0,372) n_2 = 0,3 \cdot 21,4 = 6,4 \text{ витка.}$$

6. Длина пружины

$$L = \pi R(1,745 n_1 + 1,49) = 3,14 \cdot 21(1,745 \cdot 13,4 + 1,49) = 1632 \text{ мм.}$$

7. Расчетное число витков

$$n_{\max} = n_2 - n_0 = 21,4 - 6,4 = 15 \text{ витков;}$$

$$n_{\min} = n_1 - n_0 = 13,4 - 6,4 = 7 \text{ витков.}$$

8. Ширина пружины

$$b = \frac{6LM_{\min}}{\pi E h^3 n_{\min} \eta} = \frac{6 \cdot 50 \cdot 1632}{3,14 \cdot 7 \cdot 2,1 \cdot 10^4 \cdot 0,4^3 \cdot 0,704} = 24 \text{ мм.}$$

$\eta$  – КПД принят равным 0,704.

## 10.7. КОЛЬЦА ПРУЖИННО-ЗАТЯЖНЫЕ

**Конструкция и назначение.** Кольцевые пружины (рис. 10.19, а) или пружинно-затяжные кольца состоят из внутренних и внешних стальных колец, опирающихся друг на друга своими конусными поверхностями.

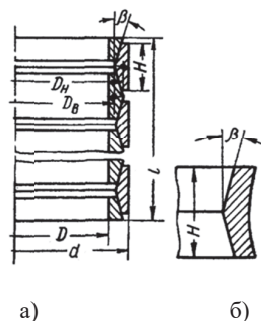
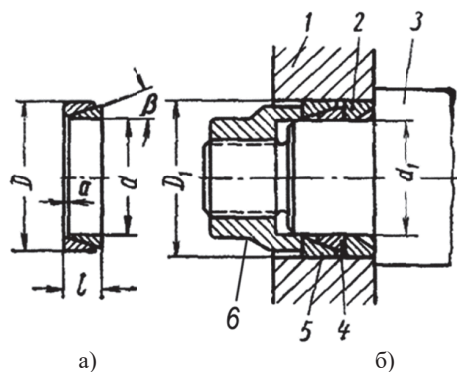


Рис. 10.19. Элементы конструкции кольцевой (клинчатой) пружины

Внутренние кольца имеют цилиндрическое отверстие с посадкой  $D_{11}$ , а наружная поверхность выполнена конической с одним или двумя уклонами.

Наружные кольца имеют наружную цилиндрическую поверхность с посадкой  $d_{11}$  и слегка вогнутой с нерабочей стороны, а отверстие, выполненное коническим с двумя уклонами,  $\beta$  (рис. 10.19, б).

Пружинно-затяжные кольца попарно свободно вставляют в пространство между гладким цилиндрическим валом и втулкой и затягиваются в осевом направлении гайкой (рис. 10.20).



**Рис. 10.20. Натяжной элемент из двух пружинных колец:**

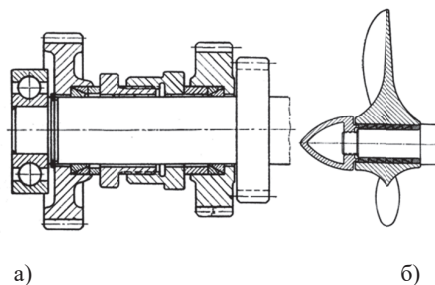
а – пара пружинных колец; б – зажимное устройство:

1 – втулка; 2 – упорное кольцо; 3 – вал; 4 – внутреннее кольцо; 5 – наружное кольцо; 6 – гайка

Под действием осевого усилия, создаваемого гайкой, происходит упругая деформация колец; при этом диаметр  $D$  наружного кольца увеличивается, а диаметр внутреннего кольца  $d$  уменьшается. Развиваемое при этом радиальное давление вызывает силы трения на поверхностях контакта, что обеспечивает передачу соединением крутящего момента соответствующей величины и предохраняет втулку от осевого смещения вдоль вала.

Эти соединения имеют выигрыш в том, что при их применении не ослабляется вал и втулка канавками для шпонок, шлицами и т.п., они обеспечивают хорошее центрирование деталей на валах. При этом не требуется дополнительной фиксации деталей на валах в осевом направлении, облегчается монтаж и демонтаж, достигается герметичность соединения и уменьшается опасность коррозии. Это особенно важно, например, для крепления гребных винтов и в некоторых других случаях.

На рис. 10.21 показаны примеры соединений с помощью пружинно-затяжных колец.



**Рис. 10.21. Примеры соединений с помощью пружинно-затяжных колец:**

а – закрепление на валу шестерен без шпонок; б – закрепление на валу гребного винта

Осевое усилие, воспринимаемое пружиной, создает на конических поверхностях соприкосновения колец большие силы давления, под действием которых наружные кольца растягиваются, а внутренние сжимаются; при этом, несмотря на значительные силы трения. При этом осевое перекрытие колец увеличивается и общая высота пружины уменьшается.

Соединения с пружинно-затяжными кольцами требуют тщательной механической обработки посадочных поверхностей и контроля затяжки нажимных гаек или винтов.

Наибольший момент, которым может быть нагружено соединение при одном комплекте затяжных колец,

$$M_k = 0,5 f p \pi d^2 (l - a),$$

где  $p$  – среднее удельное давление на поверхностях контакта;  $f = 0,1 \div 0,16$  – коэффициент трения скольжения. Осевое усилие, с которым нажимная гайка должна затягивать соединение.

$$P \approx \pi d (l - a) p (tg \beta + 2 f).$$

Следовательно

$$P = \frac{2M_k}{d} \left( \frac{tg \beta}{f} + 2 \right),$$

где  $\beta = 14 \div 17^\circ$ , а  $tg \beta = 0,25 \div 0,3$ .

Поскольку угол конусности  $\beta$  больше угла трения  $\varphi$  ( $tg \varphi = f \approx 0,1 \div 0,16$ ), внутренние силы упругости при разгрузке пружины, преодолевая трение, вновь восстанавливают ее размеры.

В табл. 10.18 приведены размеры пружинно-затяжных колец и значения, передаваемых ими наибольших моментов и наибольшего осевого усилия, при различных значениях удельного давления на контактных поверхностях.

Значения наибольшего передаваемого момента  $M_{k\max}$  и наибольшего осевого усилия  $P_{\max}$  для натяжного элемента из двух колец (рис. 10.20)

| $d$<br>в мм | $D$<br>в мм | $l$<br>в мм | $p$ – на поверхности внутреннего кольца и вала |                    |                   |                    |                   |                    |
|-------------|-------------|-------------|--|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
|             |             |             | 200 МПа  |                    | 100 МПа           |                    | 50 МПа            |                    |
|             |             |             | $M_{k\max}$<br>Нм                              | $P_{\max}$<br>в кН | $M_{k\max}$<br>Нм | $P_{\max}$<br>в кН | $M_{k\max}$<br>Нм | $P_{\max}$<br>в кН |
| 14          | 18          | 6,3         | 48   | 28                 | 24                | 14                 | 12                | 7                  |
| 16          | 20          | 6,3         | 64   | 32                 | 32                | 16                 | 16                | 8                  |
| 18          | 22          | 6,3         | 80   | 36                 | 40                | 18                 | 20                | 9                  |
| 20          | 25          | 6,3         | 100  | 40                 | 50                | 20                 | 25                | 10                 |
| 22          | 26          | 6,3         | 120  | 44                 | 60                | 22                 | 30                | 11                 |
| 25          | 30          | 6,3         | 156  | 50                 | 78                | 25                 | 39                | 12,5               |
| 28          | 32          | 6,3         | 196  | 56                 | 98                | 28                 | 49                | 14                 |
| 32          | 36          | 6,3         | 256  | 64                 | 128               | 32                 | 64                | 16                 |
| 36          | 42          | 7           | 366  | 81,4               | 183               | 40,7               | 98                | 20,4               |
| 40          | 45          | 8           | 528  | 105,6              | 264               | 52,8               | 132               | 26,4               |
| 45          | 52          | 8           | 668  | 118,8              | 334               | 59,4               | 167               | 29,7               |
| 50          | 56          | 8           | 824  | 132                | 412               | 66                 | 206               | 33                 |
| 56          | 63          | 9           | 1182   | 168,8              | 591               | 84,4               | 296               | 42,2               |
| 63          | 70          | 9           | 1496   | 190                | 748               | 95                 | 374               | 47,5               |
| 71          | 78          | 10          | 2016   | 228                | 1000              | 114                | 504               | 57                 |
| 80          | 88          | 10          | 2560   | 256                | 1280              | 128                | 640               | 64                 |
| 90          | 98          | 11          | 3620   | 322                | 1810              | 161                | 910               | 80,5               |
| 100         | 108         | 11          | 4480   | 358                | 2240              | 179                | 1120              | 89,5               |
| 120         | 130         | 12          | 6780   | 452                | 3390              | 226                | 1700              | 113                |
| 140         | 150         | 12          | 9220   | 528                | 4610              | 264                | 2310              | 132                |
| 160         | 172         | 14          | 14460  | 724                | 7230              | 362                | 3620              | 181                |
| 180         | 192         | 16          | 21360  | 950                | 10680             | 475                | 5340              | 237,5              |
| 200         | 212         | 16          | 26360  | 1056               | 13180             | 528                | 6590              | 264                |
| 220         | 234         | 18          | 35320  | 1284               | 17660             | 642                | 8830              | 321                |
| 250         | 264         | 18          | 51620  | 1648               | 25760             | 824                | 12880             | 412                |

Примечание. Здесь  $p$  — среднее удельное давление на поверхностях контакта.

При последовательно поставленных комплектах пружинно-затяжных колец и затяжке их с одной стороны (рис. 10.22) радиальное давление отдельных колец по мере удаления от нажимной гайки падает; момент, передаваемый вторым комплектом, принимают равным 50%, а момент, передаваемый третьим комплектом, равным 25% от момента, указанного в табл. 10.18 для колец данного размера.

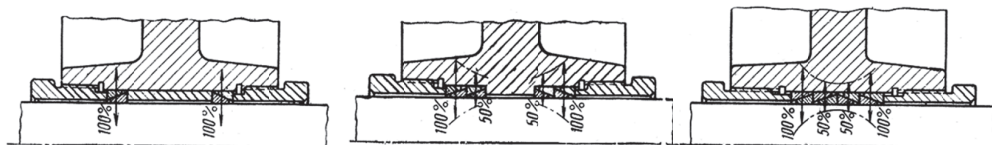


Рис. 10.22. Передаваемый момент кольцами при односторонней и двухсторонней затяжке

#### Пример

Комплект колец размером  $40 \times 45 \times 8$  мм при  $p = 100$  Н/мм<sup>2</sup> может передать момент  $M = 264$  Нм; два комплекта колец будут передавать  $1,5 \times 264 = 396 \approx 400$  Нм; три комплекта  $1,75 \times 264 \approx 460$  Нм. Если принять  $\beta = 17^\circ$ , т.е.  $\operatorname{tg}\beta \approx 0,3$  и  $f = 0,15$ , то затяжное усилие во всех трех случаях будет равно

$$P = \frac{2M_k}{d} \left( \frac{\operatorname{tg}\beta}{f} + 2 \right) = \frac{2 \cdot 264}{0,040} \left( \frac{0,3}{0,15} + 2 \right) = 52,8 \text{ кН.}$$

Это значение указано в табл. 10.18 для  $p = 100$  МПа.

При двухсторонней затяжке (рис. 10.22) каждый комплект колец и затяжных гаек принимают действующим самостоятельно, и передаваемый ими суммарный момент удваивают.

Увеличение диаметра наружного кольца, работающего на растяжение, составляет

$$\lambda_2 = D \frac{\sigma_p}{E}.$$

Уменьшение диаметра внутреннего кольца, работающего на сжатие, составляет

$$\lambda_1 = d \frac{\sigma_{сж}}{E},$$



где  $\sigma_p$  и  $\sigma_{сж}$  – напряжения соответственно на растяжение и на сжатие;  $E$  – модуль продольной упругости.

Упругая деформация колец должна быть достаточной для создания на контактных поверхностях необходимого удельного давления для соединения деталей с гарантированным натягом.

При конструировании кольцевых пружин следует руководствоваться примерно следующими соотношениями (рис. 10.19):

$$\beta = 14 \div 17^\circ,$$

$$\frac{H}{D_a} = \frac{1}{6} \div \frac{1}{5}; \quad \frac{B_{cp}}{H} = \frac{1}{5} \div \frac{1}{3}$$

где  $\beta$  – угол конусности;  $H$  – высота одного кольца;  $D_a$  – наружный диаметр одного кольца;  $b_{cp}$  – средняя толщина колец.

Зазор  $e$  между двумя последовательно поставленными внешними (или между внутренними) кольцами у предельно сжатой пружины не должен быть меньше 1 мм. Лучше делать зазор несколько большим, особенно для колец большого диаметра. Общая длина разгруженной пружины (при односторонних торцевых кольцах)

$$L = \frac{(n-1)}{2}(H+e) + \lambda_{max},$$

где  $n$  – общее число колец и  $\lambda_{max}$  – наибольшая осадка пружины.

Мощные кольцевые пружины могут быть составлены из двух концентрических соосных пружин. Кольцевые пружины должны быть хорошо смазаны. Для пружин, многократно сжимаемых в течение короткого промежутка времени, должны быть созданы условия хорошего охлаждения.

Конструктивные параметры конических пружинно-затяжных колец приведены в табл. 10.19.

Таблица 10.19

Конструктивные параметры пружинно-затяжных колец

| Размеры пружин, см |       |      |      |      |      |                |                |      | Наибольшее напряжение, Н/мм <sup>2</sup> |                  | Перемещение на один элемент $\lambda_1$ | Наибольшая нагрузка, кН |                  |
|--------------------|-------|------|------|------|------|----------------|----------------|------|--|------------------|---|-------------------------|------------------|
| D                  | D     | d    | s    | a    | b    | a <sub>1</sub> | b <sub>1</sub> | h    | r  | $[\sigma]_{нар}$ |   | $[\sigma]_{вн}$         | без учета трения |
| 48,9               | 42,85 | 5,1  | 2,45 | 1,3  | 2,1  | 0,95           | 3,9            | 0,3  | 920                                      | 1130             | 0,79                                    | 1249                    | 1998             |
| 39,1               | 34,18 | 4,1  | 1,95 | 1,05 | 1,7  | 0,8            | 3,1            | 0,25 |  | 1104             | 0,625                                   | 790                     | 1264             |
| 31,3               | 27,48 | 3,3  | 1,55 | 0,8  | 1,35 | 0,6            | 2,5            | 0,2  |  | 1100             | 0,5                                     | 504                     | 806              |
| 25                 | 21,86 | 2,6  | 1,25 | 0,65 | 1,1  | 0,5            | 2              | 0,16 |  | 1095             | 0,39                                    | 330                     | 528              |
| 20                 | 17,38 | 2,1  | 1    | 0,55 | 0,9  | 0,45           | 1,6            | 0,13 |  | 1060             | 0,33                                    | 201                     | 322              |
| 16                 | 14,05 | 1,7  | 0,8  | 0,4  | 0,7  | 0,3            | 1,3            | 0,1  |  | 1000             | 0,244                                   | 138,8                   | 229              |
| 12,8               | 11,16 | 1,35 | 0,65 | 0,35 | 0,55 | 0,25           | 1,05           | –    |  | 1150             | 0,21                                    | 89                      | 142              |
| 10,2               | 8,95  | 1,1  | 0,5  | 0,25 | 0,45 | 0,2            | 0,85           | –    |  | 1060             | 0,165                                   | 53                      | 85               |
| 8,2                | 7,21  | 0,9  | 0,4  | 0,2  | 0,35 | 0,15           | 0,7            | –    |  | 1100             | 0,135                                   | 34,7                    | 55,5             |

Примечание. Кольца изготавливают из углеродистой пружинной Стали 65Г и 70Г или кремнистой Стали 55С2 и 60С2.

**Пружина кольцевая.** Характеристика кольцевой пружины изображена на рис. 10.23. Процесс нагружения представлен прямой  $OA$ . Внешнее усилие, приложенное к торцовому кольцу, уравновешивается силами давления и силами трения (при отсутствии сил трения характеристика шла бы примерно по штриховой линии  $OC$ ).

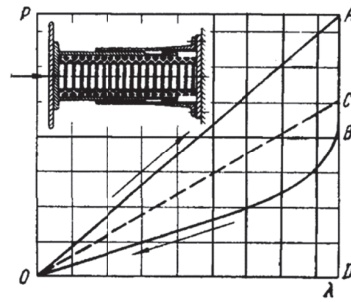


Рис. 10.23. Характеристика кольцевой пружины

Процесс разгрузки происходит в два этапа: вначале (прямая *AB*) при уменьшении нагрузки от  $P_{\max}$  до  $P_B$  внутренние силы упругости парализованы силами трения. Затем при уменьшившейся внешней силе внутренние силы упругости, сохранившие еще наибольшее значение, преодолевают трение и возвращают кольца в исходное положение (линия *BO*).

Площадь *OACBO* представляет собой работу сил трения. В зависимости от смазки и пригонки колец друг к другу работа сил трения составляет примерно 60–70% полной работы, совершаемой при нагружении пружины (площадь треугольника *OADO*). Высокая амортизационная способность кольцевых пружин трения определяет их приоритет перед другими буферными пружинами, в качестве которых они и используются (на тяжеловесных железнодорожных составах, в шасси самолетов и т.д.).

### Расчет кольцевых пружин

Наружные кольца пружины работают на растяжение, внутренние – на сжатие. Для внутренних колец

$$\sigma_{\text{вн}} = \frac{P_{\max}}{\pi F_B \operatorname{tg}(\beta + \varphi)} \leq [\sigma]_{\text{вн}},$$

для наружных колец

$$\sigma_{\text{нар}} = \frac{P_{\max}}{\pi F_H \operatorname{tg}(\beta + \varphi)} \leq [\sigma]_{\text{нар}},$$

где  $[\sigma]_{\text{вн}}$  и  $[\sigma]_{\text{нар}}$  – наибольшее напряжение в МПа по табл. 10.19.

Осевое перемещение  $\lambda$  торцов пружины, состоящей из  $n$  колец (два из них торцовые односторонние либо полные, но работающие одной стороной),

$$\lambda = \frac{(n-1)P}{2\pi E \operatorname{tg}(\beta + \varphi)} \left[ \frac{D_B}{F_B} + \frac{D_H}{F_H} \right],$$

где  $F_B$  и  $F_H$  – площади поперечных сечений соответственно внутреннего и наружного колец;  $D_B$  и  $D_H$  – по табл. 10.19. Энергия, поглощаемая пружиной при одном цикле нагружение-разгрузка,

$$T = 0,5\psi P \lambda,$$

где  $\psi \approx 0,6 \div 0,7$ .

При конструировании кольцевых пружин рекомендуют следующие зависимости:

$$\operatorname{tg} \beta \approx 0,25 \div 0,3; \beta = 14 \div 17^\circ;$$

$$\frac{H}{D_0} = \frac{1}{6} \div \frac{1}{5}; \frac{B_{\text{ср}}}{H} \approx \frac{1}{5} \div \frac{1}{3},$$

где  $B_{\text{ср}}$  – средняя толщина колец.

Зазор  $e$  между двумя последовательно поставленными внешними (или между внутренними) кольцами у предельно сжатой пружины должен быть не меньше 1 мм.

Общая длина разгруженной пружины (при односторонних торцовых кольцах)

$$L = 0,5(n-1)(H + e) + \lambda_{\max},$$

где  $\lambda_{\max}$  – наибольшая осадка пружины.

Мощные кольцевые пружины составляют из двух пружин, расположенных соосно.

Пружины, многократно сжимаемые в течение короткого промежутка времени, должны хорошо охлаждаться.

### 10.8. ПРУЖИНЫ ПРОРЕЗНЫЕ

Прорезные пружины (рис. 10.24) изготавливают в виде втулки, имеющей сквозные прорезы, расположенные в диаметральных сечениях и в шахматном порядке по ее высоте. Высота прорезей и перемычек примерно одинаковой величины.

Прорезные пружины могут находить применение в качестве пружин сжатия и пружин растяжения для создания стабильных и равномерных нагрузок по торцевой поверхности, расположенной строго перпендикулярно к оси, и при предельно малых перемещениях.

Они находят применение в различных приборах, а также в высокоскоростных шпинделях со спаренными подшипниками качения, где требуется для создания предварительного натяга равномерная стабильная нагрузка по диаметру на подшипниковые кольца при малозначимых осевых перемещениях и т.п.

Прорезные пружины относятся к классу жестких пружин. При осевом нагружении торцы их перемещаются поступательно. Все кольца деформируются одинаково, причем каждое из составляющих колец закручивается и изгибается.

Наиболее опасными являются сечения у перемычек и сечения, равноудаленные от перемычек.

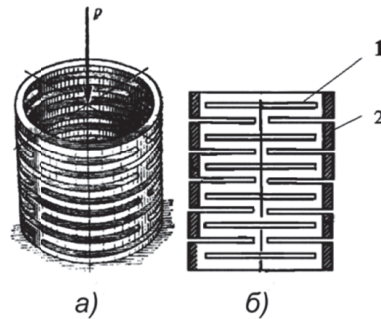


Рис. 10.24. Конструкция прорезной пружины:  
а – общий вид; б – осевое сечение (1 – прорезь, 2 – перемычка)

Для них определяют крутящий момент:

$$M_k = k \frac{PR}{2n};$$

изгибающий момент относительно оси параллельной плоскости кольца:

$$M_u = \frac{PR}{2n} (1-k) \operatorname{tg} \frac{\pi}{2n},$$

где  $R$  – средний радиус кольца;  $n$  – число прорезей по окружности;

центральный угол для одной прорези  $\alpha = \frac{2\pi}{n}$ ,  $k$  – безразмерный коэффициент,

зависящий от угла  $\alpha$  и отношения  $m = \frac{B}{C}$ . Здесь  $C$  – жесткость поперечного сечения кольца на кручение;  $B$  – жесткость поперечного сечения кольца на изгиб.

$$B = \frac{ab^2}{12} E.$$

Значения  $k$  и  $m$  при  $n = 2$  приведены в табл. 10.20.

Осевое перемещение торцов пружины, состоящей из  $z$  колец,

$$\lambda = x \frac{PR^3}{nB} z,$$

где  $k$  – безразмерный коэффициент

$$x = m \left[ \frac{\pi}{2n} - (1-k) \operatorname{tg} \frac{\pi}{2n} \right].$$

Значение коэффициентов  $m$ ,  $k$  и  $x$  для кольца прямоугольного сечения при  $n = 2$ 

| $\frac{b}{a}$ | 0,25  | 0,50  | 0,66  | 1,0   | 1,5   | 2     | 3     |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $x$           | 0,77  | 0,95  | 1,10  | 1,54  | 2,49  | 3,80  | 7,42  |
| $k$           | 0,40  | 0,37  | 0,35  | 0,32  | 0,29  | 0,27  | 0,244 |
| $m$           | 0,140 | 0,146 | 0,151 | 0,161 | 0,174 | 0,188 | 0,215 |

*Примечание.*

$a$  – длина стороны прямоугольного поперечного сечения кольца, параллельной его плоскости;

$b$  – длина стороны прямоугольного поперечного сечения кольца, перпендикулярной к его плоскости.

Значения  $m$  подсчитаны при коэффициенте Пуассона  $\mu = 0,3$ .

## Глава 11

### ПЕРЕДАЧИ ФРИКЦИОННЫЕ И ПЕРЕДАЧИ С ГИБКОЙ СВЯЗЬЮ

#### 11.1. ПЕРЕДАЧИ ФРИКЦИОННЫЕ

##### 11.1.1. ПЕРЕДАЧИ ФРИКЦИОННЫЕ С ПОСТОЯННОЙ СКОРОСТЬЮ ВРАЩЕНИЯ

**Устройство. Принцип работы.** Фрикционной называют передачу, работа которой основана на использовании сил трения, возникающих в месте контакта двух тел, для передачи энергии при поступательном или вращательном движении от одного тела к другому. Например, перемещение колесных пар по рельсу, механизм натяжения ленты в магнитофоне и др.

Различают два вида фрикционных передач. К первому виду относятся передачи, которые выполняют свою работу без изменения передаточного отношения скорости вращения, а ко второму – передачи, с помощью которых плавно изменяют передаточное отношение скоростей вращения между взаимодействующими телами.

Известно, что силу трения выражают зависимостью

$$F = Qf,$$

где  $F$  – сила трения,  $Q$  – сила нормального давления,  $f$  – коэффициент трения (табл. 11.1).

Для работы передачи без скольжения необходимо выполнить условие

$$F \geq R,$$

где  $R$  – окружное усилие.

Если окружное усилие будет больше силы трения, то фрикционная передача будет пробуксовывать и колеса будут сильно изнашиваться.

Таблица 11.1

Коэффициенты трения  $f$  и допустимые нагрузки

| Материалы тел                 | Условия работы | Коэффициенты трения, $f$ | $[\sigma_H]$ , МПа | $[q]$ , Н/мм |
|-------------------------------|----------------|--------------------------|--------------------|--------------|
| Сталь по стали                | Со смазкой     | 0,04...0,05              | (2,5÷3,0) HB       | –            |
| То же                         |                | 0,15...0,18              | (1,2÷1,5) HB       | –            |
| Сталь по бронзе               | Без смазки     | 0,20...0,25              | 1,5 HB             | –            |
| Чугун по чугуну или стали     |                | 0,05...0,20              |                    | –            |
| Текстолит по чугуну или стали |                | 0,2...0,25               | –                  | 50...60      |
| Фибра по чугуну или стали     |                | 0,15...0,20              | –                  | 35...40      |
| Резина по чугуну или стали    |                | 0,45...0,60              | –                  | 10...30      |

*Примечание.*  $[q]$  – допустимая нагрузка на единицу длины контактной линии;  $[\sigma_H]$  – допустимое контактное напряжение.

Сила нормального давления  $Q$  может принимать любые значения и ограничивается допустимым контактным напряжением  $[\sigma_H]$ , для материалов контактирующих тел, по зависимости  $\sigma_H \leq [\sigma_H]$  (табл. 11.1).

К фрикционным передачам с постоянным передаточным отношением относятся передачи, которые состоят из сопряженных цилиндрических колес (катков, роликов, дисков) с параллельными валами или передачи из сопряженных конических колес с пересекающимися валами.

В фрикционных передачах применяют колеса, изготовленные из закаленной стали при работе в масле или без смазки, или из стали (чугуна) и пластмассы.

##### 11.1.2. ПЕРЕДАЧИ ФРИКЦИОННЫЕ С ЦИЛИНДРИЧЕСКИМИ РОЛИКАМИ

Состоит из двух гладких цилиндрических колес диаметром  $D_1$  и  $D_2$ , закрепленных на параллельных валах. Подшипники ведомого колеса неподвижны, а ведущего колеса могут перемещаться в направляющих для создания силового контакта между наружными поверхностями колес с силой  $Q$  (рис. 11.1).

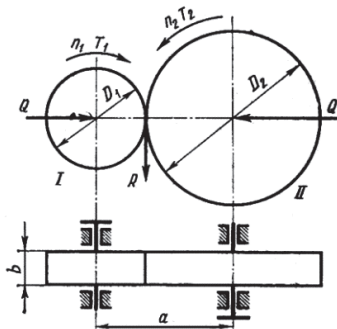


Рис. 11.1. Фрикционные передачи с параллельными валами

Передаточное отношение такой передачи

$$u = n_1 / n_2 = D_2 / D_1 (1 - \varepsilon),$$

где  $\varepsilon \approx 0,01 \div 0,03$  – коэффициент проскальзывания.

Окружное усилие  $R$

$$R = 2T_2 / D_2;$$

$$T_2 = P / \omega,$$

где  $P$  – передаваемая мощность, кВт;  $\omega$  – угловая скорость, рад/с;  $Q$  – сила, прижимающая колеса для передачи окружного усилия  $R$ ,

$$Q = K(R/f),$$

где  $K$  – коэффициент запаса сцепления ( $F=KR$ );  $K = 1,25 \div 2$  для силовых фрикционных передач,  $K \leq 3 \div 5$  для фрикционных передач в приборах.

Большая величина силы  $Q$  является основным фактором, ограничивающим применение фрикционной передачи с цилиндрическими колесами.

Контактное напряжение для фрикционных колес из стали и других материалов с коэффициентом Пуассона  $\mu = 0,3$  при начальном касании по линии :

$$\sigma_H = 0,418 \sqrt{\frac{qE}{\rho}},$$

где  $q$  – номинальная нагрузка на единицу длины контактной площадки колес;  $E$  – приведенный модуль упругости материалов колес;  $\rho$  – приведенный радиус кривизны колес.

Расчетная погонная нагрузка

$$q = kF/b,$$

где  $k = 1 \div 1,3$  – коэффициент неравномерности распределения нагрузки по длине контактной площадки;  $k$  принимается тем меньше, чем точнее изготовлена и смонтирована передача;

$b$  – длина контактной площадки.

Приведенный модуль упругости

$$E = \frac{2E_1E_2}{E_1 + E_2},$$

где  $E_1$  и  $E_2$  – модули упругости материала соответственно ведущего и ведомого колес. Если материалы колес одинаковы, то  $E = E_1 = E_2$ .

Приведенный радиус кривизны для цилиндрической фрикционной передачи (рис. 11.1)

$$\rho = D_1 D_2 / [2(D_1 + D_2)] = 0,5 D_1 u / (u + 1).$$

При проектном расчете, задавшись отношением  $\psi = b/D_1$  и выводом предшествующих формул, определим диаметр меньшего колеса  $D_1$  цилиндрической фрикционной передачи (рис. 11.1):

$$D_1 = 0,9 \cdot \sqrt[3]{[(u + 1)/u][KkET_1 / (f\psi[\sigma_H]^2)]},$$

где  $[\sigma_H]$  – допускаемое контактное напряжение на сжатие для фрикционных колес.

Приведенными формулами можно приближенно пользоваться и при других материалах фрикционных передач, для которых  $\mu \neq 0,3$ .

Коэффициент ширины колес (длины контактной площадки) для точных закрытых передач принимают  $\psi = 0,8 \div 1,2$  и для открытых передач  $\psi = 0,2 \div 0,6$ .

Длина контактной линии:

$$b = \psi D_1.$$

Диаметр большего колеса вычисляют в зависимости

$$D_2 = u D_1 (1 - \varepsilon).$$

Проверенный расчет по контактным напряжениям сжатия фрикционных колес при начальном касании их по линии производят по формуле



$$\sigma_H = 0,418 \sqrt{\frac{qE}{\rho}} \leq [\sigma_H].$$

При этом допускаемые контактные напряжения на сжатие рекомендуется принимать: для закаленных стальных колес с  $HRC \geq 60$   $[\sigma_H] = 800 \div 1200$  МПа, для текстолитовых колес (при модуле упругости текстолита  $E = 6 \cdot 10^3$  МПа)  $[\sigma_H] = 80 \div 100$  МПа и для чугунных колес  $[\sigma_H] \leq 1,5 \sigma_{в.и.}$ , где  $\sigma_{в.и.}$  – предел прочности чугуна при изгибе.

### 11.1.3. ПЕРЕДАЧИ ФРИКЦИОННЫЕ С КОНИЧЕСКИМИ РОЛИКАМИ

В фрикционной передаче с двумя пересекающимися осями применяют два конических ролика (рис. 11.2, а и б), закрепленных на валах, причем передача на рис. 11.2, б является реверсивной. Угол между осями этих валов чаще всего равен  $90^\circ$ .

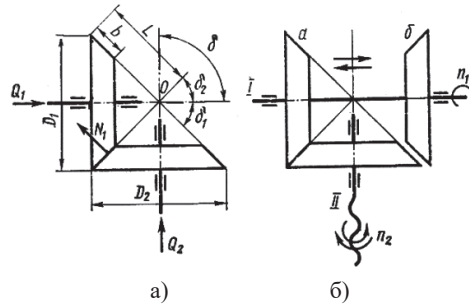


Рис. 11.2. Фрикционные передачи из сопряженных конических колес с пересекающимися валами

Передаточное отношение без учета проскальзывания для конической передачи

$$u \approx D_2/D_1.$$

Диаметр катков  $D_1 = 2L \sin \delta_1$ ,  $D_2 = 2L \sin \delta_2$ , где  $L$  – длина образующей конуса, тогда

$$u \approx D_2/D_1 = 2L \sin \delta_2 / 2L \sin \delta_1 = \sin \delta_2 / \sin \delta_1.$$

Величины сил  $Q_1$  и  $Q_2$ , сжимающих конические катки, можно определить из уравнения:

$$KR = fN_1 = fQ_1 / \sin \delta_1; Q_1 = KR \sin \delta_1 / f;$$

$$KR = fQ_2 / \sin \delta_2; Q_2 = KR \sin \delta_2 / f,$$

где  $K$  – коэффициент запаса сцепления ( $F = KR$ );  $R$  – окружное усилие;

$Q$  – сила, прижимающая колеса для передачи окружного усилия  $R$ .

При увеличении передаточного отношения  $u$  сила  $Q_1$ , сжимающая конические катки уменьшается, а  $Q_2$  увеличивается, поэтому прижимное устройство лучше устанавливать на ведущем валу.

Расчет на прочность фрикционной конической передачи производится аналогично расчету для фрикционной цилиндрической передачи с некоторыми отличиями.

Приведенный радиус кривизны для конической фрикционной передачи (рис. 11.2)

$$\rho = 2D_1D_2 / [2(D_1 \cos \alpha_2 + D_2 \cos \alpha_1)] \approx 0,5D_1u \sqrt{u^2 + 1}.$$

При проектном расчете, задавшись отношением  $\psi = b/D_1$  и выводом предшествующих формул, определим диаметр меньшего колеса  $D_1$ .

Выражение для среднего диаметра  $D_1$  меньшего колеса конической фрикционной передачи (рис. 11.2):

$$D_1 = 0,9 \cdot \sqrt[3]{(\sqrt{u^2 + 1} / u) [KkET_1 / (f\psi[\sigma_H]^2)]},$$

где  $[\sigma_H]$  – допускаемое контактное напряжение на сжатие для фрикционных колес;  $k = 1 \div 1,3$  – коэффициент неравномерности распределения нагрузки по длине контактной площадки;  $k$  принимается тем меньше, чем точнее изготовлена и смонтирована передача.

Приведенными формулами можно приближенно пользоваться и при других материалах фрикционных передач, для которых  $\mu \neq 0,3$ .

Коэффициент ширины колес (длины контактной площадки) для точных закрытых передач принимают  $\psi = 0,8 \div 1,2$  и для открытых передач  $\psi = 0,2 \div 0,6$ .

Длина контактной линии:

$$b = \psi D_1$$

Диаметр большего колеса вычисляют по зависимости

$$D_2 = u D_1 (1 - \varepsilon)$$

Проверенный расчет по контактным напряжениям сжатия фрикционных колес при начальном касании их по линии производят по формуле

$$\sigma_H = 0,418 \sqrt{\frac{qE}{\rho}} \leq [\sigma_H].$$

При этом допускаемые контактные напряжения на сжатие рекомендуется принимать: для закаленных стальных колес с  $HRC \geq 60$   $[\sigma_H] = 800 \div 1200$  МПа, для текстолитовых колес (при модуле упругости текстолита  $E = 6 \cdot 10^3$  МПа)  $[\sigma_H] = 80 \div 100$  МПа и для чугунных колес  $[\sigma_H] \leq 1,5 \sigma_{в.ч.}$ , где  $\sigma_{в.ч.}$  – предел прочности чугуна при изгибе.

## 11.2. ВАРИАТОРЫ ФРИКЦИОННЫЕ

### 11.2.1. ВАРИАТОРЫ ФРИКЦИОННЫЕ С НЕПОСРЕДСТВЕННЫМ КОНТАКТОМ

Передачи, обеспечивающие плавное, бесступенчатое изменение угловой скорости ведомого вала при неизменной угловой скорости ведущего, называют вариаторами.

Диапазон изменения (регулирования) угловой скорости ведомого вала является одной из основных характеристик любого вариатора.

Фрикционные вариаторы применяют как в кинематических, так и силовых передачах в тех случаях, когда требуется бесступенчатое регулирование скорости вращения или перемещения рабочего органа (зубчатая передача не позволяет такого регулирования).

Фрикционные вариаторы нашли применение в конвейерах, в станках, прессах, сварочных и литейных машинах, волочильных станах, текстильных, бумагоделательных и подобных им машинах с намоточными устройствами, в различных отраслях химической промышленности, приборостроения и др., где плавное регулирование скорости является технологически обязательным.

Бесступенчатое регулирование скорости на ходу способствует возможности гибко управлять работой машины для выбора оптимального технологического процесса, а также автоматизировать поддержание заданного режима работы.

Применение фрикционных вариаторов на практике ограничивается диапазоном малых и средних мощностей – до 10, реже до 20 кВт. В этом диапазоне они успешно конкурируют с гидравлическими и электрическими вариаторами, отличаясь от них простотой конструкции, малыми габаритами и повышенным КПД. При больших мощностях трудно обеспечивать необходимую силу для создания силового контакта между наружными поверхностями колес.

Главной характеристикой вариатора является диапазон регулирования  $D$ , равный отношению  $D = R_{max} / R_{min}$  максимальной угловой скорости ведомого колеса вариатора  $\omega_{2max}$  к минимальной его угловой скорости  $\omega_{2min}$ :

$$D = \omega_{2max} / \omega_{2min} = n_{2max} / n_{2min} = R_{max} / R_{min}.$$

В качестве механизма главного движения применяют передачи различного типа – с непосредственным контактом (рис. 11.3, а) ведущего и ведомого колес и (рис. 11.3, б) с контактом ведущего и ведомого колес через промежуточный элемент (металлическое кольцо, клиновой ремень, ролик, шар или сфера, ролики, покрытые резиной, кожей, пластмассой и др.).

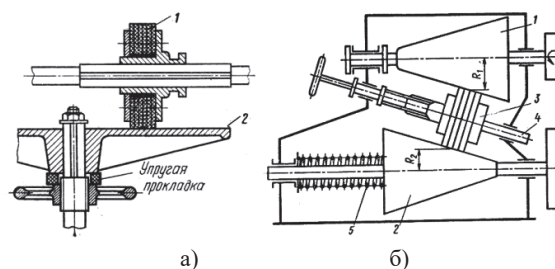


Рис. 11.3. Схемы фрикционных вариаторов с перекрещивающимися приводными валами

На рис. 11.3, а показан лобовой фрикционный вариатор. При удалении ведущего ролика 1 от оси вращения ведомого диска 2 увеличивается длина окружности – путь ролика 1 на поверхности диска 2. Это приводит к уменьшению угловой скорости ведомого вала диска 2 при неизменной угловой скорости ведущего вала ролика 1.

На рис. 11.3, б показана схема вариатора с промежуточным элементом – промежуточным цилиндрическим роликом 3, который передает вращение от конического ролика 1 коническому ролику 2. Ролики поджимаются друг к другу посредством пружины 5, которая перемещает ролик 2 вдоль оси. Цилиндрический ролик 3 может с помощью винта 4 с маховиком перемещаться вдоль образующих конических роликов 1 и 2 и этим изменять  $R_1$  поверхности ролика 1 и  $R_2$  поверхности ролика 2. При постоянной угловой скорости ведущего ролика 1 значение угловой скорости ведомого ролика 2 изменяется в соответствии с зависимостью  $u = R_2 / R_1$ , где  $1 \geq u \geq 1$ . Если промежуточный ролик 3 перемещается вправо, то угловая скорость ведомого катка 2 увеличивается и наоборот, т.е. угловая скорость ведомого катка 2 может принимать значения меньше и больше угловой скорости ведущего ролика 1.

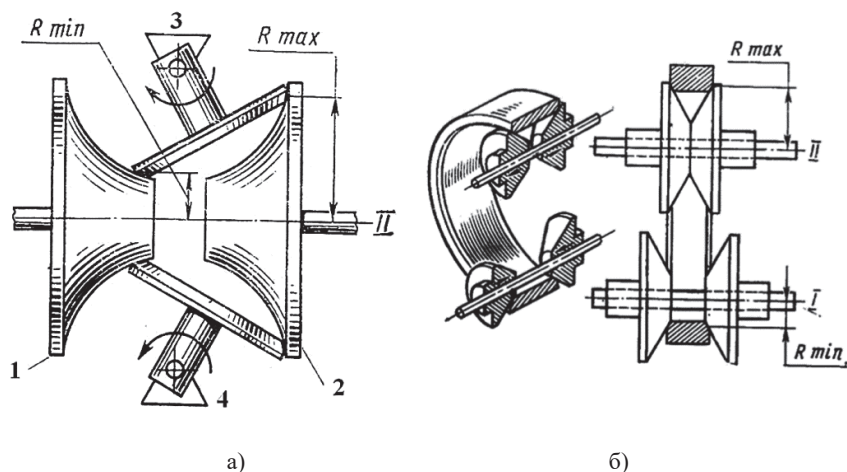


Рис. 11.4. Схемы вариаторов с соосными и параллельными приводными валами

На рис. 11.4, а показана схема вариатора с соосным расположением осей ведущего и ведомого валов, на которых закреплены диски 1 и 2 с вогнутым сферическим профилем. Передача движения осуществляется роликами 3 и 4, которые прижимаются к сферическим поверхностям ведущего и ведомого дисков. Ролики имеют возможность изменять угол наклона в плоскости ведущего и ведомого валов и при этом изменять радиусы контактов от  $R_{max}$  до  $R_{min}$  наоборот, что позволяет плавно изменять  $u_{max} > 1 > u_{min}$  и плавно изменять частоту вращения ведомого вала.

На рис. 11.4, б показаны схемы вариаторов с параллельным фиксированным расположением осей ведущего и ведомого 1 и 2 валов, на которых расположены раздвижные диски с коническим профилем. Передача движения осуществляется промежуточным звеном – жестким стальным кольцом. При увеличении расстояния между коническими дисками на ведомом валу соответственно уменьшается расстояние между коническими дисками на ведущем валу и наоборот. При этом изменяется радиусы контактов от  $R_{min}$  до  $R_{max}$  промежуточного звена с раздвижными дисками, что позволяет плавно изменять диапазон регулирования и плавно изменять частоту вращения ведомого вала.

### Расчет на прочность вариаторов фрикционных

**Контактная прочность.** Работоспособность фрикционных вариаторов ограничивается из-за недостаточной прочности рабочих поверхностей, по которым происходит контакт двух деталей. Под действием нагрузок, прижимающих эти детали, возникают местные напряжения и деформации, называемые контактными. Они возникают при малых размерах площади касания по сравнению с размерами деталей (сжатие двух шаров, шара и плоскости, двух цилиндров). Когда размеры площадок касания сравнительно велики, то принято называть напряжение, возникающие на этих площадках, напряжением сжатия или удельным давлением.

Для деталей, в поверхностных слоях которых возникают контактные напряжения (например, фрикционные катки, зубчатые колеса, подшипники качения), решающую роль играет не общая (объемная) прочность, а прочность рабочих поверхностей – контактная прочность.

До приложения нагрузки  $Q$  цилиндры или шары соприкасаются по линии или в точке. Под нагрузкой линейный и точечный контакт переходит в контакт по узкой площадке или по отпечатку в виде круга. При этом точки максимальных контактных напряжений  $\sigma_{max}$  располагаются на продольной оси симметрии контактной площадки или в центре круга. Величина этих напряжений вычисляется по формуле Г. Герца (при применении материала с коэффициентом Пуассона ( $\mu = 0,3$ )).

Для двух цилиндров максимальные контактные напряжения

$$\sigma_{max} = \frac{4q}{\pi c},$$

где  $\sigma_{max}$  – максимальные контактные напряжения;  $q$  – нагрузка на единицу длины контактной линии;  $c$  – ширина контактной площадки, определяемая из выражения

$$c = 3,04 \sqrt{\frac{q \rho_{np} (1 - \nu^2)}{E}},$$

Приложенную нагрузку  $q$  определяют расчетом таким образом, чтобы ее значение было ограничено допускаемой нагрузкой на единицу длины контактной линии, при которой контактные напряжения не превышали бы допускаемых контактных напряжений  $[\sigma]$  с тем, чтобы предупредить разрушение рабочих поверхностей деталей.

$$\sigma_{max} = 0,418 \sqrt{\frac{qE}{\rho_{np} (1 - \nu^2)}} \leq [\sigma], \text{ где}$$

$\rho_{np} = \frac{\rho_1 \rho_2}{\rho_1 + \rho_2}$  – приведенный радиус кривизны;  $\rho_1$  и  $\rho_2$  – радиусы цилиндров;  $\nu$  – коэффициент Пуассона;  $E$  – модули упругости одинаковых материалов цилиндров, для неодинаковых материалов цилиндров определяют приведенный модуль упругости.

$$E_{np} = \frac{E_1 E_2}{E_1 + E_2},$$

где  $E_1$  и  $E_2$  – модули упругости материалов цилиндров;  $[\sigma]$  – допускаемые контактные напряжения для менее прочного материала.

Для закаленных сталей при активной смазке  $[\sigma] = 800 \div 1200$  Н/мм<sup>2</sup> (модуль упругости  $E = 2,1 \cdot 10^5$  Н/мм<sup>2</sup>); для текстолита  $[\sigma] = 80 \div 100$  МПа ( $E = 6 \cdot 10^3$  Н/мм<sup>2</sup>).

КПД фрикционных передач зависит от потерь на скольжение фрикционных дисков и потерь в подшипниках от рабочих нагрузок на валы.

Для закрытых фрикционных передач  $\eta = 0,88 \div 0,93$ , для открытых –  $\eta = 0,78 \div 0,86$ .

### Пример

Фрикционная цилиндрическая передача (рис. 11.1, а) для привода ленточного транспортера передает мощность  $P=2$  кВт при угловой скорости  $\omega_1=102$  рад/с ведущего колеса к ведомому колесу, вращающемуся с угловой скоростью  $\omega_2=34$  рад/с.

Требуется определить параметры передачи.

### Вычисление

Выбираем материалы колес: меньшего – текстолит ПТК, а большего – Сталь 45.

Текстолит  $E_1=6 \cdot 10^3$  МПа,  $[\sigma_H]=100$  МПа; Сталь  $E_2=2,15 \cdot 10^5$  МПа.

Передаточное отношение по формуле:

$$u = n_1 / n_2 = 102/34 = 3$$

Крутящий момент  $T_1$ , передаваемый ведущим колесом,

$$T_1 = P/\omega = 2 \cdot 10^3 / 102 = 19,6 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Определяем диаметр  $D_1$  меньшего колеса из условия контактной прочности.

Примем коэффициент запаса сцепления колес  $K=1,25$ ; коэффициент трения по длине контактной линии  $f=0,3$ ; коэффициент неравномерности распределения нагрузки по длине контактной площадки  $k=1,1$ ; коэффициент длины контактной площадки  $\psi=0,3$ ; допускаемое контактное напряжение сжатия для текстолитового колеса  $[\sigma_H]=100$  МПа, модуль упругости для меньшего колеса (текстолит)  $E_1=6 \cdot 10^3$  МПа, для большего колеса (сталь)  $E_2=2,15 \cdot 10^5$  МПа.

Приведенный модуль упругости  $E$

$$E_{np} = \frac{2E_1 E_2}{E_1 + E_2} = \frac{2 \cdot 6 \cdot 10^3 \cdot 2,15 \cdot 10^5}{6 \cdot 10^3 + 2,15 \cdot 10^5} = 1,17 \cdot 10^4 \text{ МПа}.$$

Определяем диаметр  $D_1$  меньшего колеса

$$D_1 = 0,9 \cdot \sqrt[3]{[(u+1)/u][KkET_1/(f\psi[\sigma_H]^2)]} = 0,9 \cdot \sqrt[3]{[(3+1)/3] \cdot [1,25 \cdot 1,1 \cdot 1,17 \cdot 10^4 \cdot 19/(0,3 \cdot 100^2)]} = 0,08 \text{ м} = 80 \text{ мм}.$$

Диаметр большего колеса по формуле  $D_2 = u D_1 = 3 \cdot 80 = 240$  мм.

Ширина колес по формуле  $b = \psi d_1 = 0,3 \cdot 80 = 24$  мм.

Остальные размеры колес принимают конструктивно.

## 11.2.2. ВАРИАТОРЫ ФРИКЦИОННЫЕ С ГИБКОЙ СВЯЗЬЮ

В вариаторах с гибкой связью используются обычно клиновые ремни и пластинчатые цепи (рис. 11.5).

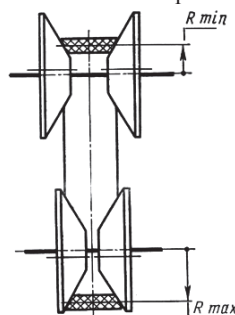


Рис. 11.5. Схема вариаторов с гибкой связью и параллельными приводными валами

В вариаторах с *клиновым ремнем* рабочая поверхность коническая и гладкая. Передача движения осуществляется за счет сил трения-сцепления ремня со шкивом.

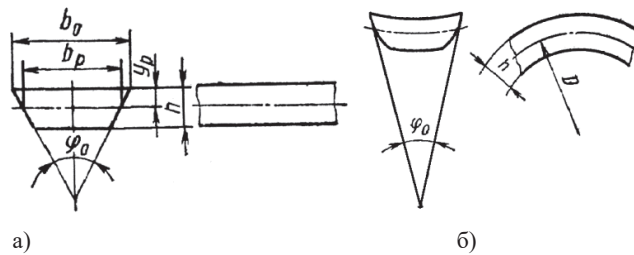
В вариаторах с *пластинчатой цепью* рабочая поверхность коническая и имеет радиальные шлицы. Передача движения осуществляется за счет зацепления шарниров на боковой поверхности цепи со шлицами шкивов.

При увеличении расстояния между коническими дисками на ведомом валу соответственно уменьшается расстояние между коническими дисками на ведущем валу и наоборот. При этом изменяются радиусы контактов от  $R_{\min}$  до  $R_{\max}$  промежуточного звена с раздвижными дисками, что позволяет плавно изменять диапазон регулирования передаточного отношения  $u$  и плавно изменять частоту вращения ведомого вала.

В вариаторах с клиновым ремнем и цепных изменение передаточного отношения достигается одновременным изменением расчетных диаметров ведущего  $D_1$  и ведомого  $D_2$  шкивов, что осуществляется сближением и раздвижением конусов. При минимальном или максимальном передаточном отношении ремень или цепь на конусах располагается в крайних положениях.

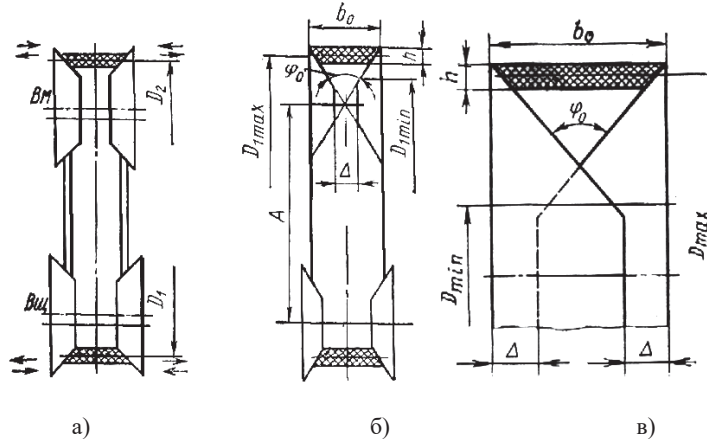
**Расчетная ширина ремня** определяется из чертежа (рис. 11.6, а) по нейтральному слою.

$$b_p = b_0 - 2y_p \operatorname{tg}(\varphi_0/2) = (D_{1 \max} - D_{1 \min}) \operatorname{tg}(\varphi_0/2) + h \operatorname{tg}(\varphi_0/2) + \Delta$$



**Рис. 11.6. Вариаторный ремень:**  
а – недеформированный; б – деформированный при изгибе

В вариаторах с клиновым ремнем диапазон регулирования  $D$  определяется из чертежа (рис. 11.7, в).



**Рис. 11.7. Схемы вариатора с гибкой связью:**  
а – при  $u = 1$ ; б – при  $u \neq 1$ ; в – к определению  $D$

$$b_0 = (D_{1 \max} - D_{1 \min} + 2h) \operatorname{tg}(\varphi_0/2) + \Delta.$$

При симметричном регулировании  $D_{\max} = D_{\min} \sqrt{D}$ ; зазор между конусами в крайнем сдвинутом положении  $\Delta = 0,05b_p$ ; коэффициенты  $v = b_p / h$  и  $e = D_{\min} / h$ .

В результате получаем зависимость для диапазона регулирования  $D$  для двух раздвижных шкивов при симметричном регулировании

$$D = \left( \frac{0,95v \cdot \operatorname{ctg}(\varphi_0/2) - 1}{e} + 1 \right)^2 \quad (1)$$

В тех конструкциях, где раздвижной только один шкив, получим следующую зависимость

$$D = \frac{0,95v \cdot \operatorname{ctg}(\varphi_0/2) - 1}{e} + 1 \quad (2)$$

Применение конструкции шкивов с минимальными значениями  $\Delta$  (рис. 11.7, в)

$$b_0 = \frac{D_{\max} - D_{\min}}{2} \operatorname{tg} \frac{\varphi_0}{2} + h \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi_0}{2} + \Delta$$

Расчетная ширина

$$b_p = \frac{D_{\max} - D_{\min}}{2} \operatorname{tg} \frac{\varphi_0}{2} + \Delta \cdot$$

Отсюда диапазон регулирования

$$D = \left( \frac{1,9v \cdot \operatorname{ctg}(\varphi_0/2)}{e} + 1 \right)^m,$$

где  $m$  – число раздвижных шкивов.

Зависимости (1), (2) показывают, что для повышения диапазона регулирования возможны следующие пути.

1. Увеличение коэффициента  $v$ . Для стандартных клиновых ремней  $v = 1,33 \div 1,42$ . Широкие клиновые ремни могут обеспечить  $v = 1,65 \div 4,7$ .
2. Уменьшение коэффициента  $e$ . Для стандартных клиновых ремней минимальные значения следующие (табл. 11.2).

Таблица 11.2

Значения коэффициента  $e$  для стандартных клиновых ремней

| Тип ремня | О    | А    | Б    | В    | Г    | Д    | Е    |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|
| $e$       | 10,5 | 11,3 | 11,9 | 14,8 | 16,6 | 21,2 | 26,7 |

На практике для повышения продольной гибкости и поперечной жесткости на внутренней, а иногда и на наружной стороне по ширине ремня выполняют из того же материала зубья (ребра) для жесткости. Широкие ремни выпускают со значениями  $e = 5 \div 7$ .

3. Уменьшение угла клина  $\varphi_0$ . Для стандартных клиновых ремней  $\varphi_0 = 40^\circ$ . Минимальные значения угла клина следующие  $\varphi_0 = 20 \div 24^\circ$ , при которых возможно заклинивание ремня в шкиве вариатора.

Колеса фрикционных передач изготавливают из материалов, которые должны обеспечивать поверхностную прочность и износостойчивость, а также обладать возможно большим коэффициентом трения.

**Расчет сечения ремня.** Сечение стандартного клинового ремня для вариатора определяют методом, принятым для нерегулируемой клиноременной передачи. Характеристики широких клиновых ремней приведены в табл. 11.3.

Таблица 11.3

Основные параметры широких клиновых ремней

| Размеры сечений, мм |     |       | Конструкция | Диаметры шкива, мм |            | Д*  | N, кВт | Д**  | N кВт |
|---------------------|-----|-------|-------------|--------------------|------------|-----|--------|------|-------|
| $b_p$               | $h$ | $b_0$ |             | $D_{\max}$         | $D_{\min}$ |     |        |      |       |
| 25                  | 8   | 28    | С зубьями   | 150                | 67         | 5,0 | 1,8    | 4,50 | 3,0   |
|                     | 8   | 27    | Без зубьев  | 180                | 95         | 3,5 | 1,8    | –    | –     |
|                     | 11  | 28    | С зубьями   | 170                | 90         | 3,5 | 3,5    | 3,04 | 5,9   |
| 32                  | 10  | 35    | С зубьями   | 200                | 90         | 5,0 | 3,0    | 4,37 | 4,5   |
|                     | 10  | 34    | Без зубьев  | 212                | 112        | 3,5 | 3,0    | –    | –     |
|                     | 14  | 36    | С зубьями   | 212                | 112        | 3,5 | 5,9    | 3,11 | 10,6  |
| 40                  | 13  | 44    | С зубьями   | 236                | 108        | 5,0 | 5,0    | 4,56 | 7,8   |
|                     | 13  | 43    | Без зубьев  | 315                | 170        | 3,5 | 5,0    | –    | –     |
|                     | 18  | 45    | С зубьями   | 300                | 170        | 3,2 | 9,5    | 2,63 | 15,9  |
| 50                  | 16  | 55    | С зубьями   | 315                | 140        | 5,0 | 8,5    | 4,33 | 11,8  |
|                     | 16  | 53    | Без зубьев  | 375                | 200        | 3,5 | 8,5    | –    | –     |
|                     | 22  | 56    | С зубьями   | 375                | 212        | 3,2 | 14,0   | 2,65 | 23,6  |
| 63                  | 20  | 69    | С зубьями   | 400                | 180        | 5,0 | 12,5   | 4,27 | 18,3  |
|                     | 20  | 67    | Без зубьев  | 530                | 300        | 3,2 | 12,5   | –    | –     |

*Примечание.* Угол клина: ремней  $\varphi_0 = 34^\circ$ ; шкивов  $\varphi_0 = 28^\circ$ .

Д\* – при несимметричном регулировании; Д\*\* – при симметричном регулировании.

Для определения длины ремня необходимо задаться межосевым расстоянием.

$$A = (0,6 \div 0,9) (D_{\max} + D_{\min}).$$

Длина широкого ремня для вариатора рассчитывается по среднему диаметру шкивов и уточняется в соответствии с рядом длин 800, 1000, 1250, 1600 и 2000.

Расчетная методика та же, что и в случае стандартных клиновых ремней.



## Усилие нажатия

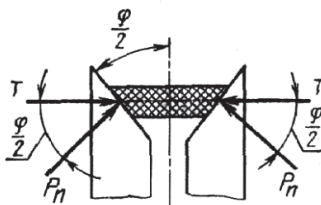


Рис. 11.8. К определению усилия нажатия на ремень в вариаторах

Из рис. 11.8. следует

$$T = P_n \cos(\varphi/2).$$

Нормальное усилие  $P_n$  связано с расчетным окружным усилием зависимостью

$$P_n = \beta P / 2f.$$

Следовательно,

$$T = \frac{\beta P}{2f} \cos \frac{\varphi}{2},$$

здесь  $\beta = 1,2 \div 1,4$  – при нажатии со стороны ведомого конуса;  $\beta = 1,7 \div 2,2$  – при нажатии на ведущий конус. Коэффициент трения  $f \approx 0,3$ .

В табл. 11.4 в качестве примера приведены технические данные вариаторов с широким клиновым ремнем, в табл. 11.5 – технические характеристики цепных пластинчатых вариаторов.

Таблица 11.4

Технические данные вариаторов с широким клиновым ремнем

| Мощность электродвигателя, кВт | Частота вращения ведущего вала, об/мин | Частота вращения ведомого вала, об/мин | Диапазон регулирования Д | Мощность на ведущем валу, кВт, при частоте вращения |               | КПД     | Размеры ремня, мм                             | Габаритные размеры, мм | Масса с учетом электродвигателя, кг |
|--------------------------------|--|--|--------------------------|---|---------------|---------|---|------------------------|-------------------------------------|
|                                |  |  |                          | * $n_2 \min$  | ** $n_2 \max$ |         |   |                        |                                     |
| 7,5                            | 1000                                   | 500<br>2000                            | 4                        | 5   | 10            | 0,8–0,9 | 63×20<br>$L_p = 1600$<br>$\varphi = 34^\circ$ | 830×590×1030           | 400                                 |
| 3                              | 1500                                   | 750<br>3000                            | 4                        | 2,8   | 4             | 0,8–0,9 | 40×13<br>$L_p = 1120$<br>$\varphi = 34^\circ$ | 435×615×775            | 150                                 |

*Примечание.* \* Мощность указана для длительной работы ремня на всем диапазоне регулирования скорости.  
\*\* Мощность указана для прерывистой работы ремня при частоте вращения ведомого вала более 1500 об/мин.

Технические характеристики цепных пластинчатых вариаторов

| Д   | Частота вращения, об/мин |                     | Передаваемая мощность, кВт, при |                    | Крутящий момент на выходном валу, Н·мм, при |                     | Д   | Частота вращения, об/мин |                    | Передаваемая мощность, кВт, при |                    | Крутящий момент на выходном валу, Н·мм, при |                    |
|-----|--------------------------|---------------------|---------------------------------|--------------------|---|---------------------|-----|--------------------------|--------------------|---------------------------------|--------------------|---|--------------------|
|     | ** n <sub>1</sub>        | *n <sub>2 min</sub> | n <sub>2 min</sub>              | n <sub>2 max</sub> | n <sub>2 min</sub>                          | n <sub>2 max</sub>  |     | n <sub>1</sub>           | n <sub>2 min</sub> | n <sub>2 min</sub>              | n <sub>2 max</sub> | n <sub>2 min</sub>                          | n <sub>2 max</sub> |
| 3   | 920                      | 532                 | 1,1                             | 1,5                | 2·10 <sup>4</sup>                           | 0,9·10 <sup>4</sup> | 3   | 920                      | 532                | 5,2                             | 7,5                | 9,6·10 <sup>4</sup>                         | 4,6·10*            |
|     | 820                      | 475                 | 1,0                             | 1,3                |   |                     |     | 820                      | 475                | 4,7                             | 6,7                |   |                    |
|     | 730                      | 420                 | 0,85                            | 1,15               |   |                     |     | 730                      | 420                | 4,1                             | 6,0                |   |                    |
| 4,5 | 920                      | 434                 | 0,9                             | 1,4                | 2·10 <sup>4</sup>                           | 0,7·10 <sup>4</sup> | 4,5 | 920                      | 434                | 4,3                             | 7,4                | 9,6·10 <sup>4</sup>                         | 3,7·10*            |
|     | 820                      | 390                 | 0,8                             | 1,25               |   |                     |     | 820                      | 390                | 3,8                             | 6,65               |   |                    |
|     | 730                      | 344                 | 0,7                             | 1,1                |   |                     |     | 730                      | 344                | 3,4                             | 5,9                |   |                    |
| 6   | 820                      | 335                 | 0,7                             | 1,25               | 2·10 <sup>4</sup>                           | 0,6·10 <sup>4</sup> | 6   | 820                      | 335                | 3,3                             | 6,6                | 9,6·10 <sup>4</sup>                         | 3,2·10*            |
|     | 730                      | 300                 | 0,6                             | 1,1                |   |                     |     | 730                      | 300                | 3,0                             | 5,9                |   |                    |
| 3   | 920                      | 532                 | 2,2                             | 3,0                | 4·10 <sup>4</sup>                           | 1,8·10 <sup>4</sup> | 3   | 920                      | 532                | 9,9                             | 11,2               | 18,1·10 <sup>4</sup>                        | 8,1·10*            |
|     | 820                      | 475                 | 2,0                             | 2,6                |   |                     |     | 820                      | 475                | 8,8                             | 11,8               |   |                    |
|     | 730                      | 420                 | 1,1                             | 2,3                |   |                     |     | 730                      | 420                | 7,8                             | 10,5               |   |                    |
| 4,5 | 920                      | 434                 | 1,8                             | 2,8                | 4·10 <sup>4</sup>                           | 1,4·10 <sup>4</sup> | 4,5 | 920                      | 434                | 8,0                             | 13,0               | 18,1·10 <sup>4</sup>                        | 6,5·10*            |
|     | 820                      | 390                 | 1,6                             | 2,5                |   |                     |     | 820                      | 390                | 7,2                             | 11,9               |   | 6,6·10*            |
|     | 730                      | 344                 | 1,4                             | 2,2                |   |                     |     | 730                      | 344                | 6,4                             | 11,1               |   | 7,0·10*            |
| 6   | 820                      | 335                 | 1,4                             | 2,5                | 4·10 <sup>4</sup>                           | 1,2·10 <sup>4</sup> | 6   | 820                      | 335                | 6,2                             | 10,9               | 18,1·10 <sup>4</sup>                        | 5,3·10*            |
|     | 730                      | 300                 | 1,2                             | 2,2                |   |                     |     | 730                      | 300                | 5,6                             | 10,3               |   | 5,6·10*            |
| 3   | 920                      | 532                 | 3,3                             | 4,75               | 6,1·10 <sup>4</sup>                         | 2,9·10 <sup>4</sup> | 3   | 625                      | 360                | 11,2                            | 19                 | 30·10 <sup>4</sup>                          | 18·10*             |
|     | 820                      | 472                 | 3,0                             | 4,25               |   |                     |     | 30·10 <sup>4</sup>       |                    |                                 |                    |   |                    |
|     | 730                      | 420                 | 2,6                             | 3,75               |   |                     |     |                          |                    |                                 |                    |   |                    |
| 4,5 | 920                      | 434                 | 2,7                             | 4,6                | 6,1·10 <sup>4</sup>                         | 2,3·10 <sup>4</sup> | 4   | 625                      | 312                | 9,5                             | 19                 | 30·10 <sup>4</sup>                          | 14·10*             |
|     | 820                      | 350                 | 2,45                            | 4,15               |   |                     |     |                          |                    |                                 |                    |   |                    |

Примечание. Д – диапазон регулирования. На выходе  $n_{2 \max} = D \cdot n_{2 \min}$

\*  $n_{2 \min}$  – частота вращения выходного вала вариатора;

\*\*  $n_1$  – частота вращения вала на входе вариатора.

**Применение вариаторов фрикционных** в машине определяется, прежде всего, необходимостью в плавном изменении частоты вращения выходного вала. При этом может решаться задача с повышением частоты вращения или с понижением относительно исходной. Если по технологическому процессу нет необходимости в плавном изменении частоты вращения выходного вала механизма и допускается возможность применения ступенчатого регулирования частоты вращения выходного вала, то более целесообразно отдать предпочтение коробке со ступенчатым изменением скорости вращения выходного вала.

При подборе вариатора следует руководствоваться основными паспортными показателями вариатора: диапазоном регулирования, угловой скоростью выходного вала вариатора и допускаемой нагрузочной способностью. Каждый показатель вариатора должен иметь значения большей величины, чем требуемые при эксплуатации.

Рекомендуют вариатор с диапазоном регулирования располагать в общей кинематической схеме привода там, где угловая скорость и передаваемый момент соответствуют паспортным данным вариатора.

Фрикционные вариаторы могут применяться в первом звене привода, сразу за электродвигателем.

Вариаторы клиноременные и с широким клиновым ремнем также могут применяться в качестве первого звена привода.

Для цепных вариаторов частота вращения ведущего вала ограничена, однако использование таких вариаторов после зубчатой или ременной передачи позволяет применить их в гибком приводе.

Примером применения вариатора может служить токарный станок для обработки деталей алмазным инструментом. При малой глубине стружки требуется высокая скорость резания. Вариатор с широким клиновым ремнем дает возможность при  $D=3 \div 4$  сообщить шпинделю станка  $5000 \div 8000 \text{ мин}^{-1}$ .

Несмотря на простоту конструкции вариатора, рекомендуют при единичной потребности подбирать готовый вариатор из числа выпускаемых промышленностью.

### 11.3. ПЕРЕДАЧИ РЕМЕННЫЕ

Ременная передача относится к фрикционным механическим передачам с гибкой связью, действующей на основе сил трения. Она состоит из двух или нескольких шкивов, охватываемых гибким ремнем, надетым на шкивы с натяжением (рис. 11.9).

Вращение ведущего шкива *A* преобразуется во вращение ведомого шкива *B* при наличии величины силы трения, развиваемой между ремнем и шкивами (рис. 11.9, *a*).

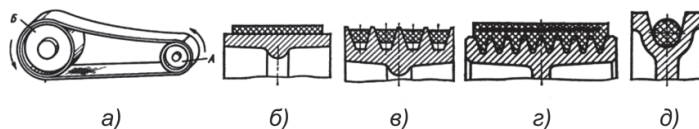


Рис. 11.9. Ременная передача:  
а – схема передачи; б, в, г, д – типы приводных ремней

К преимуществам ременных передач относятся хорошие амортизирующие и демпфирующие свойства, бесшумность, способность служить предохранительным звеном при случайных перегрузках, простота конструкции, пониженные требования к точности изготовления и монтажа, меньшая трудоемкость в обслуживании и ремонте.

*Плоские ремни* (рис. 11.9, б) – бесконечные и сшивные, в поперечном сечении имеют форму прямоугольника шириной, значительно превосходящей толщину. Чем тоньше ремень, тем большей гибкостью он обладает. Применяют резинотканевые ремни по ГОСТ 23831-79.

*Клиновые ремни* (рис. 11.9, в) – бесконечные, в поперечном сечении представляют собой трапецию. Рабочими поверхностями клинового ремня являются его боковые стороны, которыми он соприкасается с боковыми поверхностями канавки (желоба) шкива. Применяют клиновые ремни нормального сечения по ГОСТ 1284-89 и узкие по РТМ 51-15-70.

Профиль канавок шкива соответствует трапеции ремня, но глубина их больше высоты сечения ремня с тем, чтобы между нижним основанием ремня и дном желоба шкива был зазор. Ремень клиновой поверхностью взаимодействует с канавкой шкива, которая обеспечивает повышенное сцепление со шкивом и, следовательно, повышенную тяговую способность.

*Поликлиновые ремни* (рис. 11.9, г) – бесконечные плоские ремни с продольными клиновыми выступами-ребрами на рабочей поверхности, входящими в соответствующие клиновые канавки шкивов. Эти ремни сочетают достоинства плоских ремней – гибкость, а клиновых ремней – повышенную сцепляемость со шкивами.

*Круглые ремни* (рис. 11.9, д) – бесконечные, в поперечном сечении представляют собой круг. Глубина и размеры желоба шкива должны соответствовать поперечному сечению ремня. Круглый ремень, благодаря взаимодействию с профилем канавки шкива, характеризуется повышенным сцеплением со шкивом и, следовательно, повышенной тяговой способностью.

Соответственно форме поперечного сечения ремня различают *плоскоремные, клиноремные, поликлиновые и круглоремные* передачи. Наиболее распространены плоскоремные и клиноремные передачи.

### 11.3.1. ПЕРЕДАЧИ С ПЛОСКИМИ РЕМНЯМИ

Ременные передачи относятся к фрикционным передачам, поэтому они предохраняют механизмы от перегрузки вследствие возможного проскальзывания ремней по поверхности шкивов; благодаря эластичности ремней, ременные передачи работают плавно и с низким уровнем шума.

#### 11.3.1.1. Материалы и конструкция ремней

Приводной ремень должен обладать определенной тяговой способностью (способностью передавать заданную нагрузку без буксования) и достаточной долговечностью. Тяговая способность ремня обеспечивается надежным сцеплением его со шкивами, что обуславливается высоким коэффициентом трения между ними.

Долговечность ремня зависит от возникающих в нем напряжений изгиба и частоты циклов нагружений – числа пробегов ремня в единицу времени. Пользуясь приведенными ниже рекомендациями, можно обеспечить требуемую долговечность ремня (табл. 11.7).

По материалу и конструкции различают несколько типов ремней (табл. 11.6).

*Кордшнуровые прорезиненные ремни* состоят из крученых анидных кордшнуров, расположенных в слое резины. Выпускаются в виде бесконечных лент. Допускаемая наибольшая скорость для ремней – 35 м/с.

Прорезиненные ремни изготавливают трех типов: А, Б и В. Нарезные ремни состоят из нескольких слоев (прокладок) крупноплетеной хлопчатобумажной ткани (бельтинга) или из крученых кордшнуров, между которыми для повышения гибкости ремней помещают прослойки из вулканизированной резины.

Допускаемая наибольшая скорость для ремней: типа А – 30 м/с, Б – 20 м/с, В – 15 м/с. Прорезиненные ремни связаны с большими габаритами передач, поэтому находят ограниченное применение в машиностроении.

*Кожаные ремни* делают из отдельных цельных полос кожи путем их склеивания специальным клеем или сшивки сыромятными ремешками (жильными струнами диаметром 1,5÷3,5 мм). Стандартные кожаные ремни изготавливают конечными шириной 20÷300 мм и толщиной 3÷10 мм. Они предназначены для передачи малых и средних мощностей, обладают хорошей тяговой способностью, прочны. С точки зрения надежности и долговечности они предпочтительнее других, в особенности при работе в условиях переменных и ударных нагрузок. Они имеют износоустойчивые кромки и могут работать при скорости до 45 м/с. Однако из-за высокой стоимости их применяют редко. Кожаные ремни совершенно не пригодны для работы в сырых и насыщенных парами кислот и щелочей помещениях, так как они быстро портятся и выходят из строя.

*Хлопчатобумажные цельнотканые ремни* изготавливают (ткут) из хлопчатобумажной пряжи в несколько переплетающихся слоев обычно конечными шириной 30÷250 мм, толщиной 4,5÷8,5 мм (соответственно числу слоев 4÷8). Для предохранения от атмосферных влияний, увеличения прочности и долговечности, а также уменьшения усадки в свободном состоянии их пропитывают специальным составом из озокерита (горного воска) и битума. Хлопчатобумажные ремни самые дешевые, но по нагрузочной способности и долговечности уступают прорезиненным и кожаным ремням, и поэтому их применяют преимущественно для передачи небольших мощностей при скорости до 25 м/с. Для работы в сырых помещениях или при температуре свыше 50°C, а также при опасности воздействия паров кислот хлопчатобумажные ремни не применяют.

*Шерстяные ремни* выполняют (ткут) в несколько слоев из шерстяных и хлопчатобумажных нитей, пропитывают составом из олифы, порошкового мела и железного сурика. Они менее чувствительны к воздействию повышенной температуры, влажности, паров кислот и щелочей, что и определяет области применения этих ремней. Шерстяные ремни делают конечными шириной 50÷500 мм и толщиной 6÷11 мм (соответственно числу слоев 3 ÷5). Они обладают значительной упругостью и поэтому хорошо работают при неравномерной и ударной нагрузках. Максимальная допускаемая скорость 30 м/с.

Кроме стандартных типов плоских ремней в отдельных специальных установках применяют *прошивные прорезиненные, тканые полульняные, шелковые, полиамидные* и другие ремни. При больших скоростях выпускают бесконечные тканые *полульняные ремни* шириной 15÷25 мм, толщиной 1,75 мм и длиной 1000...1800 мм. Для быстроходных передач используют *шелковые ремни*.

*Полиамидные ремни, капроновые и нейлоновые*, в том числе с фрикционным покрытием из синтетических смол ( $f \approx 0,5$ ) имеют большое распространение в современном машиностроении (табл. 11.8). Их либо ткут из полиамидных нитей, либо получают в виде пленочной многослойной ленты толщиной от 0,4 до 1,2 мм. Могут передавать мощности порядка 15 кВт.

Применяют также полиамидные ремни, армированные тонкими металлическими тросами. Эти ремни в несколько раз прочнее и долговечнее приведенных выше. Они пригодны для высокоскоростных передач при скорости ремня до 100 м/с и выше.

Таблица 11.6

**Основные технические характеристики плоских ремней**

| Параметры  | Кожаные              | Резинотканевые  |   |  | Хлопчатобумажные          |
|--|----------------------|---|---|--|---------------------------|
|  |                      | Тип А   | Тип Б   | Тип В  |                           |
| Ширина ремней $b$ , мм                                     | 10-560               | 20; 25; 30;<br>40; 45; 50;<br>60; 70; 75;<br>80; 85; 90;<br>100; 125;<br>150; 200; 250;<br>300; 400; 450;<br>500÷1100 | 20; 25; 30;<br>40; 45; 50;<br>200; 250;<br>300; 375;<br>400; 425;<br>450; 500 | 20;25; 30;<br>40; 50; 60;<br>70; 75;80;<br>85; 90; 110;<br>125; 150; 200;<br>250; 300; 375;<br>400; 425;<br>450; 500 | 30–250                    |
| Толщина ремня $\delta$ , мм                                | (3-6)<br>(одинарные) | 6; 8; 10;<br>12; 14; 16   | 3;4;5;6; 7,5;<br>9; 10,5; 12;<br>13,5   | 2,5; 3,75; 5;<br>6,25; 7,5; 8;<br>7,5;10; 11,25  | 4,5; 6,5;<br>8,5          |
| Число прокладок (слоев)                                    | –                    | 3-9   | 2-9   | 3-9  | 4-8                       |
| Напряжение начального натяжения $\delta_0$ , МПа           | 1,6 – 2,4            | 1,6   | 1,8 – 2,0   | 2,4  | 1,6 – 2,4                 |
| Отношение $\delta/D_{min}$<br>рекомендуемое<br>допускаемое | 0,028<br>0,04        |   | 0,025<br>0,0033   |  | 0,025–0,033<br>0,028–0,04 |
| Наибольшая рекомендуемая скорость                          | 40                   | 30  | 20  | 15   | 25                        |
| Плотность, кг/м <sup>3</sup>                               | 980                  | 1200–1500   |   |  | 750–1050                  |
| Модуль продольной упругости $E$ , МПа                      | 98,1–147             | 78,5–118  |   |  | 29,4–59                   |

Таблица 11.7

**Значение коэффициента трения скольжения  $f$**

| Материалы поверхностей трения и условия смазки    | $f$        |
|---|------------|
| Хлопчатобумажная лента по стали или чугуну всухую | 0,2...0,22 |
| Шерстяная лента по стали или чугуну всухую        | ~ 0,35     |
| Прорезиненная лента по стали или чугуну всухую    | ~ 0,30     |

**11.3.1.2. Геометрия передачи. Силы и напряжения в ремне**

После выбора привода с электродвигателем становится известным его мощность  $P$  (Вт) и угловая скорость  $\omega_p$  (рад/с) его вала, связанного с плоскоремной передачей (рис. 11.10).

$$P = T_p \omega_p / \eta,$$

где  $\eta$  – коэффициент полезного действия.

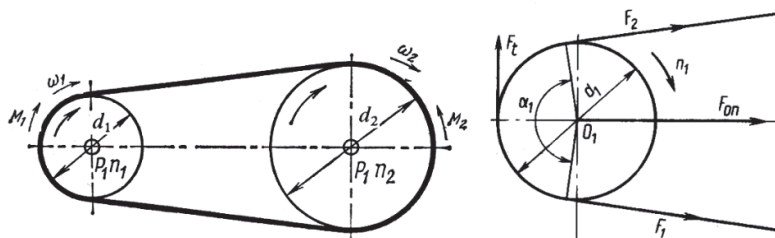


Рис. 11.10. Схема параметров плоскоремной передачи, участвующих в расчете

Вращающий момент  $M_1$  на валу ведущего шкива (Н·мм) находят по формуле:

$$M_1 = \frac{P}{\omega_1} = \frac{30P}{\pi n_1},$$

где  $P$  – мощность, Вт;  $\omega$  – в рад/с;  $n_i$  – в об/мин.

Диаметр ведущего шкива (мм) вычисляют по эмпирической зависимости

$$d_1 \approx 60 \cdot \sqrt[3]{M_1}, \text{ где } M_1 \text{ – в Н·мм.}$$

$$\text{Или } d_1 = (115 \dots 135) \cdot \sqrt[3]{P/n_1}, \text{ мм.}$$

Для кордшнуровых плоских ремней  $d_1 \geq 70\delta$ .

Для синтетических плоских ремней  $d_1 \geq (100 \dots 150)\delta$ , где  $\delta$  – толщина ремня.

Диаметр ведомого шкива (мм) определяют с учетом относительного скольжения ремня  $\varepsilon$ :

$$d_2 = d_1 u (1 - \varepsilon)$$

для передач с регулируемым натяжением ремня  $\varepsilon = 0,01 \dots 0,02$ .

По найденному значению  $d_1$  и  $d_2$  подбирают диаметр шкива (мм) из рекомендуемого ряда 40; 45; 50; 56; 63; 71; 80; 90; 100; 112; 125; 140; 160; 180; 200; 224; 250; 280; 315; 355; 400; 450; 500; 560; 630; 710; 800; 900; 1000; 1120; 1250; 1400; 1600; 1800; 2000 и уточняют передаточное отношение  $u$ .

Так как величина скольжения  $\varepsilon$  пренебрежимо мала, то обычно принимают

$$u = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1}.$$

Межосевое расстояние передачи (рис. 11.10)

$$a \geq 2(d_1 + d_2).$$

Угол обхвата ведущего шкива

$$\alpha_1^\circ \approx 180 - 60 \frac{d_2 - d_1}{a} \geq [\alpha_1],$$

где для плоскоремненной передачи  $[\alpha_1] \geq 150^\circ$ .

Длина ремня

$$L = 2a + \pi \frac{d_1 + d_2}{2} + \left( \frac{d_2 - d_1}{2} \right)^2 \frac{1}{a}.$$

Расчетная скорость ремня, м/с

$$v = 0,5 d_1 \omega_1 = \frac{\pi d_1 n_1}{60}, \text{ где } d_1 - \text{в м.}$$

Окончательное межосевое расстояние

$$a = 0,125 \cdot [2l - \pi(d_2 + d_1) + \sqrt{[2l - \pi(d_2 + d_1)]^2 - 8(d_2 - d_1)^2}], \text{ мм.}$$

$F_0 = \sigma_0 b \delta$  – предварительное натяжение каждой ветви;

$F_1 = F_0 + 0,5 F_t$  – натяжение ведущей ветви;

$F_2 = F_0 - 0,5 F_t$  – натяжение ведомой ветви;

$F_e = 2 F_0 \sin(\alpha_1/2)$  – нагрузка на вал, где  $\alpha_1$  – угол обхвата ремнем ведущего шкива.

**Расчет плоскоремненной передачи по тяговой способности.** Основным расчетом ременных передач является расчет по тяговой способности, основанный на анализе кривых скольжения, построенных на основе эмпирических данных. Тяговая способность ременной передачи обуславливается сцеплением ремня со шкивами при передаче нагрузки с одного шкива на другой. С увеличением полезной нагрузки до определенных пределов, зависящих от сил трения между шкивом и ремнем, плавно возрастает проскальзывание ремня относительно поверхности шкива. Затем работа передачи становится неустойчивой, что выражается в частичном или устойчивом пробуксовывании. На основе эмпирических данных выявлены математические зависимости и значения параметров, обеспечивающих устойчивую работу передачи.

### 11.3.1.3. Расчет для кордшнуровых, кожаных, текстильных и синтетических ремней

Ширину ремня  $b$  определяют по формуле  $F_t \leq \delta b [k]$ , где  $F_t = P/v$  – окружная сила;  $\delta$  и  $b$  – толщина и ширина ремня;  $[k]$  – допускаемое полезное напряжение.

Разделив обе части равенства на площадь поперечного сечения ремня, получим

$[k_0] = 2\varphi_0 \sigma_0$ , где  $[k_0]$  – приведенное полезное напряжение,  $\sigma_0$  – напряжение от предварительного натяжения ремня;

$\varphi_0$  – оптимальный коэффициент тяги, для плоских ремней  $\varphi_0 = 0,4 \dots 0,5$ .

Толщину ( $\delta < 0,03 d_1$ ) и ширину  $b$  ремня выбирают так, чтобы было соблюдено условие (табл. 11.8).

| Прочностные характеристики ремней |               |            |                                     |                                |
|-----------------------------------|---------------|------------|-------------------------------------|--------------------------------|
| Тип ремня                         | $\delta$ , мм | $d_f$ , мм | $\sigma_\theta$ , Н/мм <sup>2</sup> | $k_\theta$ , Н/мм <sup>2</sup> |
| Кордшнуровой прорезиненный        | 2,8           | 100        | 2                                   | 0,9                            |
|                                   | 2,8           | 180        | 2                                   | 1,6                            |
|                                   | 2,8           | 220        | 2                                   | 2,32                           |
| Синтетический                     | 0,5           | 100...200  | 3                                   | 2,0                            |
|                                   | 0,7           | 100...220  | 3                                   | 1,43                           |
| Кожаный                           |               |            | 1,8                                 | 1,7÷2,2                        |
| Хлопчатобумажный                  |               |            | 1,8                                 | 1,5÷1,7                        |
| Шерстяной                         |               |            | 1,8                                 | 1,2                            |

Расчет проектируемой передачи ведут по допускаемому полезному напряжению  $[k]$ , которое получают в результате уточнения эмпирического значения приведенного полезного напряжения  $k_0$  (указывается в сопроводительной документации) с помощью поправочных коэффициентов, учитывающих возможные реальные условия работы передачи отличные от условий, при которых производились испытания.

$$[k] = k_0 C_a C_v C_p C_d C_\theta,$$

где  $k_0$  – приведенное полезное напряжение (табл. 11.8);

$$C_a = 1 - 0,003(180 - \alpha_1^\circ) \text{ (табл. 11.9).}$$

Таблица 11.9

| Коэффициент $C_a$          |     |      |      |      |     |
|----------------------------|-----|------|------|------|-----|
| Угол охвата $\alpha^\circ$ | 180 | 170  | 160  | 150  | 140 |
| $C_a$ для плоских ремней   | 1,0 | 0,97 | 0,94 | 0,91 | –   |

$C_v = 1,04 - 0,0004v^2$  – коэффициент, учитывающий влияние центробежных сил, зависящий от скорости ремня (табл. 11.10).

Таблица 11.10

| Коэффициент $C_v$        |      |     |      |      |
|--------------------------|------|-----|------|------|
| $v$ , м/с                | 1    | 10  | 20   | 30   |
| $C_v$ для плоских ремней | 1,04 | 1,0 | 0,88 | 0,68 |

$C_p$  – коэффициент, учитывающий влияние режима работы, выбирают по табл. 11.11.

Таблица 11.11

| Значения коэффициента $C_p$ для ременных передач для асинхронных двигателей                 |           |                     |                        |                           |
|---|-----------|---------------------|------------------------|---------------------------|
| Характер нагрузки   | Спокойная | Умеренные колебания | Значительные колебания | Ударная, резкие колебания |
| $C_p$   | 1         | 0,9                 | 0,8                    | 0,7                       |
| <i>Примечание:</i> при двухсменной работе $C_p$ уменьшают на 0,1, при трехсменной – на 0,2. |           |                     |                        |                           |

$C_d$  – коэффициент, учитывающий влияние диаметра меньшего шкива  $d_f$ .

При скорости ремня  $v \leq 40$  м/с получим (табл. 11.12).

Таблица 11.12

| Коэффициент $C_d$ |     |     |      |     |     |            |
|-------------------|-----|-----|------|-----|-----|------------|
| $d_f$ , мм        | 15  | 20  | 40   | 60  | 90  | $\geq 120$ |
| $C_d$             | 0,6 | 0,8 | 0,95 | 1,0 | 1,1 | 1,2        |

$C_\theta$  – коэффициент, учитывающий расположение передачи: если угол  $\theta$  наклона линии, соединяющей центры шкивов, к горизонту (табл. 11.13).

Таблица 11.13

| Тип передачи                | Коэффициент $C_\theta$                  |        |        |
|-----------------------------|---|--------|--------|
|                             | Угол наклона к горизонту $\theta^\circ$ |        |        |
|                             | 0–60°                                   | 60–80° | 80–90° |
| Периодически регулируемая:  |   |        |        |
| открытая                    | 1                                       | 0,9    | 0,8    |
| перекрестная                | 0,9                                     | 0,8    | 0,7    |
| полуперекрестная            | 0,8                                     | 0,7    | 0,6    |
| Автоматическая регулируемая | 1                                       | 1      | 1      |

Расчет для резинотканевых ремней, у которых основную нагрузку несут тканевые прокладки (слои) (табл. 11.6).

Работоспособность ремня зависит в первую очередь от его натяжения, которым обеспечивается тяговая способность ремня, его прочность.



Силы, действующие в ременной передаче, Н, где

$$F_t = P/v - \text{окружная сила};$$

$$F_1 = F_0 + 0,5F_t - \text{натяжение ведущей ветви};$$

$$F_2 = F_0 - 0,5F_t - \text{натяжение ведомой ветви};$$

где  $F_0 = \sigma_0 b \delta$ , – предварительное натяжение каждой ветви,  $\sigma_0$  – напряжение от предварительного натяжения ремня,  $b$  и  $\delta$  – ширина и толщина ремня, мм.

При  $\sigma_0 = 1,6$  МПа следует вести расчет передач с постоянным коротким межцентровым расстоянием или при почти вертикальном расположении привода.

При  $\sigma_0 = 1,8$  МПа рекомендуется вести расчет передач:

1) с постоянным межцентровым расстоянием, но при достаточном межцентровом расстоянии и при угле наклона привода к горизонту не более  $60^\circ$ ;

2) с переменным межцентровым расстоянием, но когда ремень подтягивается периодически.

При увеличении натяжения ремня  $\geq 2,0$  МПа можно вести расчет передач с автоматически регулируемым натяжением.

$$S = b\delta = \frac{F_t}{[p]} - \text{площадь поперечного сечения ремня, которая определяется по критерию тяговой способности, } b \text{ и } \delta -$$

ширина и толщина ремня, мм;  $F_t$  – окружная сила;

$[p]$  – допускаемая удельная тяговая способность ремня (допускаемое полезное напряжение);

$$[p] = p_0 C_a C_v C_p C_d C_\theta,$$

где  $p_0$  – приведенное полезное напряжение, определяемое по эмпирической формуле, которое относится к открытой горизонтальной передаче при угле обхвата  $\alpha_1 = 180^\circ$ ; скорости  $v = 10$  м/с, спокойной односменной работе и нормальных условиях окружающей среды;

$C_a, C_v, C_p, C_d$  и  $C_\theta$  – значения коэффициентов (табл. 11.9 ... 11.13).

$$p_0 = a - \omega(\delta/d_1),$$

где  $\omega$  – коэффициент зависит от вида ремня;  $a$  – коэффициент зависит от вида ремня и от натяжения  $\sigma_0$  (табл. 11.14).

Таблица 11.14

Значение коэффициентов  $a$ ,  $\omega$  и  $\delta/d_1$ 

| Натяжение ремня, $\sigma_0$<br>МПа | Ремень                   |                |                  |           |
|------------------------------------|--------------------------|----------------|------------------|-----------|
|                                    | кожаные                  | резинотканевые | хлопчатобумажные | шерстяные |
|                                    | Коэффициент – $a$        |                |                  |           |
| 1,6                                | 2,7                      | 2,3            | 2,0              | 1,7       |
| 1,8                                | 2,9                      | 2,5            | 2,2              | 1,8       |
| 2,0                                | 3,1                      | 2,7            | 2,4              | 1,9       |
| –                                  | Коэффициент $\omega$     |                |                  |           |
| –                                  | 30,0                     | 10,0           | 18,0             | 15,0      |
| –                                  | Коэффициент $\delta/d_1$ |                |                  |           |
| –                                  | 1/35                     | 1/40           | 1/30             | 1/30      |

При выборе натяжения ремня ( $\sigma_0 = 1,6 \dots 2,0$  МПа) следует учесть влияние на тяговую способность передачи диаметра  $d_1$  меньшего шкива передачи.

При определении  $b$  и  $\delta$  ремня необходимо, чтобы отношения  $\delta/d_1$  не превышало допустимого значения, т.к. с уменьшением значения  $\delta/d_1$ , ресурс работы ремня возрастает.

Требуемая ширина резинотканевого ремня

$$b \geq \frac{F_t}{z[p]} = \frac{F_t}{\delta[p]},$$

где  $z$  – число прокладок (слоев) (табл. 11.15);  $[p]$  – допускаемое полезное напряжение, МПа.

Таблица 11.15

Ширина резинотканевого ремня

| Ширина $b$ , мм            | Число прокладок, $z$ |
|----------------------------|----------------------|
| 20; 25; 30; 40; 50; 63; 71 | 3÷5                  |
| 80; 90; 100; 112           | 3÷6                  |
| 125; 160; 180              | 4÷6                  |
| 200; 224; 250; 280; 355    | 4÷8                  |
| 400; 450                   | 5÷8                  |
| 500; 560                   | 5÷9                  |

Допускаемое окружное усилие

$$F_t = Sp = Sp_0 C_a C_v C_p C_d C_\theta = b\delta(a - \omega(\delta/d_1)) C_a C_v C_p C_d C_\theta, \text{ Н.}$$

Допускаемая мощность

$$P = F_t v, \text{ Вт.}$$

Для обеспечения достаточной эластичности ремня необходимо соблюдать условие

$$\delta = \delta_0 z \leq 0,025 d_1,$$

где  $\delta_0 = 1,2 \div 1,5$  мм – толщина одной прокладки с резиновой прослойкой (свойство ремня);  $\delta/d_1 = 0,025$  – значение допускаемое,  $a \delta/d_1 = 0,033$  – предельное (табл. 11.6).

Если оно не выполнено, то следует уменьшить число прокладок  $z$  и повторить расчет.

### Проверочный расчет

Проверка прочности ремня по максимальным напряжениям в сечении ведущей ветви ремня

$$\sigma_{\max} = \sigma_t + \sigma_u + \sigma_v \leq [\sigma_p], \text{ Н/мм}^2;$$

$$\sigma_t = \frac{F_0}{A} + \frac{F_t}{2A} - \text{напряжение от растяжения плоских ремней, Н/мм}^2, A = \delta b, \text{ мм}^2;$$

$$\sigma_u = \frac{E_u \delta}{d_1} - \text{напряжение от изгиба плоских ремней, Н/мм}^2,$$

где  $E_u = 80 \dots 100$  МПа – модуль продольной упругости при изгибе для резинотканевых ремней;  $E_u = 40 \dots 50$  МПа – для хлопчатобумажных ремней.

$$\sigma_v = \rho v^2 - \text{напряжение от центробежных сил, Н/мм}^2,$$

где  $\rho = 1100 \div 1200$  кг/м<sup>3</sup> – плотность материала для плоских ремней,  $v$ , м/с;

$[\sigma_p] = 8$  Н/мм<sup>2</sup> – допускаемое напряжение на растяжение для плоских резинотканевых ремней, Н/мм<sup>2</sup>;

$[\sigma_p] = 5$  Н/мм<sup>2</sup> – допускаемое напряжение на растяжение для плоских хлопчатобумажных ремней, Н/мм<sup>2</sup>.

Расчетную долговечность ремня определяют в зависимости от базового числа циклов (обычно его принимают равным  $10^7$ ) и от числа пробегов за все время эксплуатации

$$N_u = 2 \cdot 3600 H_0 U, \text{ где } H_0 - \text{долговечность, ч.}$$

$$U = v / L,$$

где  $U$  – число пробегов ремня в секунду;  $v$  – скорость ремня, м/с;  $L$  – длина ремня, м.

Учитывая сложность выявления факторов, их взаимосвязей и степень их влияния на долговечность ремня, экспертно-аналитическим путем выработаны рекомендации:

при выборе меньшего шкива не ограничиваться его минимальными размерами, а назначать возможно больший размер для уменьшения напряжений при деформации ремня, что повышает долговечность ремня;

при расчете ремней на долговечность ограничиваться проверкой частоты циклов деформации ремня, которая оценивается частотой пробегов  $U$ .

При этом выработаны зависимости по допускаемой частоте пробегов  $[U]$ .

$$U = v / L \leq [U],$$

где для плоскоремной передачи  $[U] \leq 15$  с<sup>-1</sup>.

Нагрузку на валы ременной передачи определяют в зависимости от способа регулирования натяжения ремня:

при автоматическом регулировании –  $F_B = 2F_0 \sin(\alpha_1 / 2)$ ;

при периодическом регулировании –  $F_B = 3F_0 \sin(\alpha_1 / 2)$ .

Установление и поддержание правильного рабочего натяжения ремней обеспечивает их нормальную работоспособность и долговечность.

Чрезмерно малое натяжение связано с пониженной тяговой способностью. С увеличением натяжения ремня будет до известного предела возрастать тяговая способность. Увеличение натяжения ремня выше рекомендуемого в качестве меры повышения работоспособности ремня допускать нельзя. Это влечет за собой понижение долговечности ремня и увеличение давления на валы и опоры и их износ.

В начальный момент монтажа и создания первичного натяжения ремню необходимо дать натяжение  $\sigma > \sigma_0$ .

Новым или долгое время не работавшим ремням сообщают начальное натяжение, которое в 1,5 раза больше нормального, т. е.  $\sigma = 2,5 \dots 3,0$  МПа, особенно если они были плохо или совсем не были предварительно вытянуты.

Работавшим ремням в простых передачах и новым в натяжных передачах сообщают натяжение лишь на  $\sim 25\%$  больше нормального, т. е.  $\sigma = 2,0 \dots 2,5$  МПа.

Приработанным ремням в самонатяжных передачах совсем не дается запаса натяжения, т. е. принимается  $\sigma = \sigma_0$ .

**Пример**

Понижающая передача для редуктора.

Мощность двигателя 3,0 кВт;  $n = 2840$  об/мин,  $u = 2,5$ ;  $\theta = 15^\circ$ .

**Вычисление**

Выбор ремня и диаметра меньшего шкива. Для ускоряющей передачи по табл. 11.6 выбираем кордшнуровой прорезиненный ремень толщиной  $\delta = 2,8$  мм и диаметр меньшего шкива  $d_1 = 100$  мм.

Диаметр большого шкива

$$d_2 = d_1 u (1 - \varepsilon); = 100 \cdot 2,5 (1 - 0,01) \text{ мм} = 248 \text{ мм, принимаем } d_2 = 250 \text{ мм.}$$

Фактическое передаточное число

$$u_{\text{ф}} = d_2 / d_1 = 250 / 100 = 2,5.$$

Скорость ремня

$$v = 0,5 d_1 \omega_1 = \frac{\pi d_1 n_1}{60} = \pi \cdot 100 \cdot 2880 / 60 \cdot 10^3 \text{ м/с} = 15 \text{ м/с} < [v] = 35 \text{ м/с, что допустимо.}$$

Расчетная длина ремня:

расчетное минимальное межосевое расстояние

$$a \geq 2(d_1 + d_2) = 2(100 + 250) = 700 \text{ мм, принимаем } 700 \text{ мм;}$$

расчетная длина ремня

$$L = 2a + \pi \frac{d_1 + d_2}{2} + \left( \frac{d_2 - d_1}{2} \right)^2 \frac{1}{a} = 2 \cdot 700 + \pi \frac{100 + 250}{2} + \frac{(250 - 100)^2}{4 \cdot 700} \text{ мм} = 1957,8 \text{ мм;}$$

принимаем  $L = 2000$  мм.

Частота пробегов ремня

$$U = v / L = 15 / 2 = 7,5 \text{ с}^{-1} < [U] = 15 \text{ с}^{-1}, \text{ что допустимо.}$$

Угол охвата меньшего шкива

$$\alpha_1^\circ \approx 180 - 60 \frac{d_2 - d_1}{a} = 180 - 60(250 - 100) / 700 = 167,14^\circ > [\alpha_2] = 150^\circ.$$

Окружная сила, передаваемая ремнем

$$F_t = \frac{P}{v} = 3,0 \cdot 10^3 / 15 \text{ Н} = 200 \text{ Н.}$$

Ширина ремня:

$$[k_0] = 0,9 \text{ Н/мм}^2; C_\theta = 1,0; C_v = 0,9; C_d = 1,2; C_F = 0,95; C_a = 0,97; C_p = 0,9;$$

допускаемая удельная окружная сила

$$[k] = k_0 C_a C_v C_p C_d C_\theta = 0,9 \cdot 1,0 \cdot 0,9 \cdot 1,2 \cdot 0,95 \cdot 0,97 \cdot 0,9 = 0,9 \text{ Н/мм}^2;$$

ширина ремня

$$b \geq F_t / \delta [k] = 200 / 2,8 \cdot 0,9 \text{ мм} = 79,36 \text{ мм, выбираем } 80 \text{ мм.}$$

Окончательное межосевое расстояние

$$a = [2l - \pi(d_2 + d_1) + \sqrt{[2l - \pi(d_2 + d_1)]^2 - 8(d_2 - d_1)^2}] / 8 = (4000 - 1099,56 + 2869,24) / 8 = 721,21 \text{ мм.}$$

Сила предварительного натяжения ремня при  $\sigma_0 = 2 \text{ Н/мм}^2$

$$F_0 = \sigma_0 b \delta = 2 \cdot 80 \cdot 2,8 = 448 \text{ Н.}$$

Сила, действующая на валы

$$F_g = 2 F_0 \sin(\alpha_{1/2}) = 2 \cdot 448 \cdot \sin 167,14^\circ/2 = 890,36 \text{ Н.}$$

#### 11.3.1.4. Устройства для натяжения ремней

Для создания трения между шкивом и ремнем создают натяжение ремней путем предварительного упругого деформирования перемещением одного из шкивов передачи и с помощью натяжного ролика (шкива).

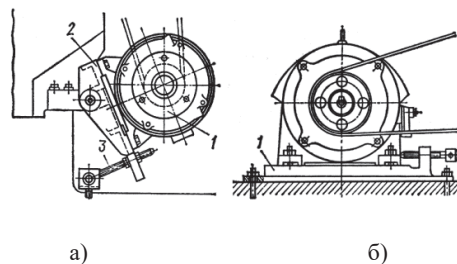


Рис. 11.11. Устройства для натяжения ремней

На рис. 11.11 *а* и *б* показаны способы натяжения ремней, осуществляемые перемещением ведущего шкива, установленного на валу электродвигателя. На рис. 11.11, *а* положение электродвигателя 1, установленного на качающейся плите 2, фиксируется установочным винтом 3. На рис. 11.11, *б* электродвигатель с шкивом, установленный на салазках 1, перемещается по направляющим салазок с помощью отжимных винтов.

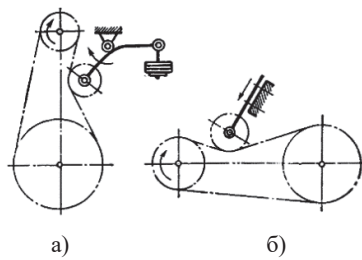


Рис. 11.12. Возможные схемы установки натяжных роликов

Натяжение ремней ременной передачи натяжным роликом осуществляется либо с помощью груза (рис. 11.12 *а*), либо с помощью пружины (рис. 11.12 *б*). Пользуются также натяжными роликами, оси которых после регулировки натяжения ремня закрепляют неподвижно. Эти ролики проще, но зато ролики с подвижными осями автоматически обеспечивают требуемое натяжение ремня. Натяжные ролики применяют в плоскоремennых и сравнительно редко в клиноремennых передачах при малом межосевом расстоянии и больших передаточных отношениях в целях увеличения угла обхвата ремнем меньшего шкива. Достоинства передач с натяжным роликом по сравнению с обыкновенной ременной передачей при одних и тех же габаритах: передача большей мощности, силы давления на валы меньше, нет необходимости в частой перешивке плоского ремня из-за его вытягивания, ремни легко надевать на шкивы. Но так как ремни на роликах имеют дополнительный изгиб и в большинстве случаев в другую сторону, чем на рабочих шкивах, то долговечность их значительно меньше.

К достоинствам ремennых передач, определяющим области их применения, относятся: выполнять роль быстроходной передачи для снижения угловой скорости вала электродвигателя для возможности работать другим передачам с меньшими угловыми скоростями, возможность осуществления передачи между валами, расположенными на относительно большом расстоянии; обеспечивается плавность и безударность работы передачи тем, что внезапное увеличение момента на одном из валов приводит лишь к увеличению скольжения ремня на шкивах; предельность нагрузки, способность ремня передать лишь определенную нагрузку, свыше которой происходит буксование (скольжение) ремня по шкиву. Этим машина с данной передачей предохраняется от перегрузок и поломок, возможна передача больших мощностей. Встречаются ремennые передачи мощностью до 1500 кВт и выше, но в большинстве случаев их применяют для передачи мощностей 0,3÷50 кВт.

Недостатком ремennых передач является громоздкость; непостоянство передаточного отношения передачи, вызванное неравномерностью проскальзывания ремня; повышенные силы давления на валы и подшипники, так как суммарное натяжение ветвей ремня значительно больше окружной силы передачи.

### 11.3.2. ПЕРЕДАЧИ С КЛИНОВЫМИ РЕМНЯМИ

Ремennую передачу с параллельными осями, приводной ремень которой имеет клиновидную форму поперечного сечения, называют клиноремennой (рис. 11.13).

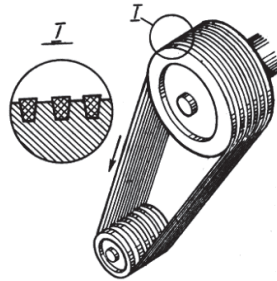


Рис. 11.13. Клиноременная передача

Клиноременную передачу выполняют только открытой, т. е. направления ведущего и ведомого шкивов в ней совпадают. Число клиновых ремней часто принимают от трех до пяти (максимально восемь ремней), но передача может быть и с одним ремнем.

Рабочие поверхности – это боковые стороны клинового ремня, не должны выступать за пределы наружного диаметра шкива. Клиноременные передачи в машиностроении применяют чаще, чем плоскоременные.

Оптимальная окружная скорость, при которой передача работает устойчиво,  $v = 5 \div 25$  м/с. При  $v \geq 30$  м/с клиновые ремни могут вибрировать.

Передаточное число для одноступенчатой клиноременной передачи  $u \leq 8$ .

Достоинством клиноременной передачи по сравнению с плоскоременной – возможность передачи большей мощности; допустимость меньшего межосевого расстояния и возможность применения меньшего угла обхвата малого шкива.

По сравнению с плоскоременной передачей клиноременная передача обладает значительно большей тяговой способностью за счет повышенного сцепления, обусловленного приведенным коэффициентом трения  $f'$  между ремнем и шкивом по формуле:

$$f' = f / \sin(\alpha/2),$$

где  $f$  – коэффициент трения на плоскости (для прорезиненной ткани по чугуну  $f=0,3$ );  
 $\alpha$  – угол профиля канавки шкива. Для  $\alpha = \varphi = 40^\circ$ , получим

$$f' = f / \sin 20^\circ \approx 3f.$$

Таким образом, при прочих равных условиях клиновые ремни способны передать почти в три раза большую окружную силу, чем плоские.

К недостаткам ремня следует отнести его большую жесткость и, как следствие, – меньший срок службы; необходимость применения особых приемов при монтаже ремня; зависимость размеров проектируемой передачи от регламентированной (табличной) длины ремня; большую эксплуатационную стоимость передачи из-за неравномерной вытяжки ремней, т.к. ремонту ремни не подлежат, большая трудоемкость изготовления шкивов и несколько пониженный КПД  $\eta = 0,87 \div 0,97$ .

### 11.3.2.1. Ремни для клиноременных передач

Основное распространение получили ремни трапециевидного сечения (рис. 11.14) с углом профиля  $\varphi = 40 + 1^\circ$ .

Замкнутые бесшовные ремни изготавливают методом вулканизации в пресс-формах. Трапециевидная (клиновья) форма ремня увеличивает его сцепление со шкивом примерно в 3 раза по сравнению с плоским ремнем, но вследствие большой высоты ремня эта форма неблагоприятна ввиду напряжений изгиба на шкивах; передача имеет более низкий КПД. Эти недостатки отчасти компенсируются тем, что ремень изготавливают из материала с малым модулем упругости (из резины), а несущие кордовые слои имеют наибольшую толщину и располагаются около нейтральной плоскости ремня.

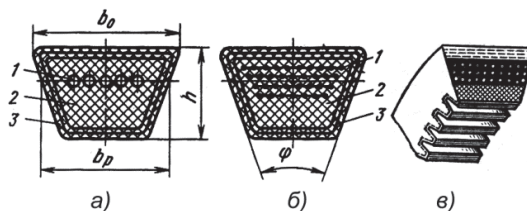


Рис. 11.14. Ремни для клиноременных передач

Промышленность выпускает клиновые ремни двух типов: кордшнуровые (рис. 11.14, а) и кордтканевые (рис. 11.14, б). Различаются они тем, что основной несущий слой у первого состоит из одного ряда толстых кордовых шнуров 1, а у второго – из нескольких рядов кордовой ткани 1. В верхней и нижней частях сечения (в зонах растяжения и сжатия) ремень заполнен резиной 2, а снаружи в несколько слоев обмотан прорезиненной тканью – обертка 3.

Для увеличения эластичности некоторые ремни выполняют с гофрами на внутренней и наружной поверхностях. (рис. 11.14, в).

Кордшнуровые или кордтканевые гофрированные ремни применяют в передачах с малыми диаметрами шкивов. В кордшнуровых ремнях корд состоит из одного ряда толстых крученых анидных шнуров, поэтому они более гибки.

При выборе конструкции ремня рекомендуются кордтканевые ремни, как более долговечные. Если в передаче требуется применить шкивы малых диаметров (но в пределах стандарта), то принимают кордшнуровые ремни.

В зависимости от отношения расчетной ширины сечения ремня  $b_p$  к высоте  $h$  в машиностроении нашли применение клиновые ремни нормального сечения семи типоразмеров с  $b_p/h \approx 1,4$ , которые применяются при  $v < 30$  м/с, и узкие ремни четырех типоразмеров с  $b_p/h \approx 1,05 \dots 1,1$ . (рис. 11.15).

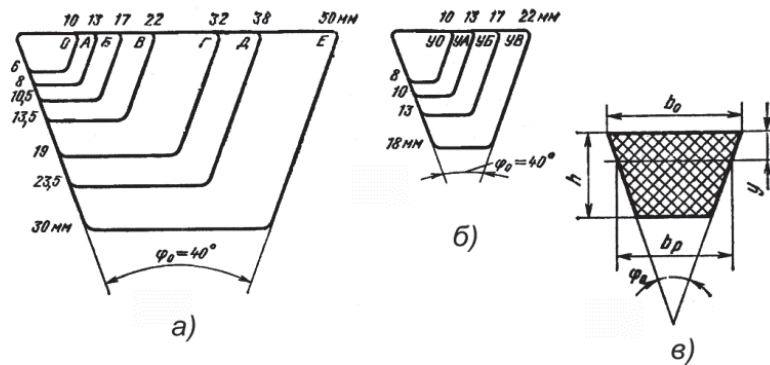


Рис. 11.15. Схема для сравнения размеров сечений:

а – клиновых ремней нормального сечения; б – узких сечений клиновых ремней;

в – размеров профиля поперечного сечения ремней, применяемых в приводах машин

Узкие клиновые ремни работают с большими до 2 раз удельными нагрузками, чем с нормальными сечениями и применяют их при  $v \leq 50$  м/с.

Все клиновые ремни в сечении имеют форму трапеции с углом профиля  $40^\circ$  в недеформированном состоянии.

Расчетная длина  $L$  клинового ремня соответствует длине нейтрального слоя.

Клиновые ремни нормального сечения изготавливают семи профилей сечений (О, А, Б, В, Г, Д, Е). Клиновые узкие ремни изготавливают четырех профилей сечений (УО, УА, УБ, УВ).

Характеристики клиновых приводных ремней приведены в табл. 11.16. Размеры ремня, мм (рис. 11.15, в): ширина большого основания ремня  $b_0$ ; расчетная ширина ремня  $b_p$ ; высота ремня  $h$ ; длина ремня  $L$ ; площадь сечения  $A_f$ .

Таблица 11.16

Характеристики клиновых резиноканевых приводных ремней

| Сечение ремня                             | $D_1$<br>min | Размеры сечения, мм |       |      | $A_f$ , мм <sup>2</sup> | Рекомендуемая длина $L$ ремня, мм |
|---|--------------|---------------------|-------|------|-------------------------|-----------------------------------|
|   |              | $b_0$               | $b_p$ | $h$  |                         |                                   |
| <i>Клиновые ремни нормального сечения</i> |              |                     |       |      |                         |                                   |
| О   | 63           | 10                  | 8,5   | 6    | 47                      | 400÷2500                          |
| А   | 90           | 13                  | 11    | 8    | 81                      | 560÷4000                          |
| Б   | 125          | 17                  | 14    | 10,5 | 138                     | 800÷6300                          |
| В   | 200          | 22                  | 19    | 13,5 | 230                     | 1800÷10600                        |
| Г   | 315          | 32                  | 27    | 19   | 476                     | 3150÷15000                        |
| Д   | 500          | 38                  | 32    | 23,5 | 692                     | 4500÷18000                        |
| Е   | 800          | 50                  | 42    | 30   | 1170                    | 6300÷18000                        |
| <i>Клиновые ремни узкого сечения</i>      |              |                     |       |      |                         |                                   |
| УО  | 63           | 10                  | 8,5   | 8    | 56                      | 630÷3550                          |
| УА  | 90           | 13                  | 11    | 10   | 93                      | 800÷4500                          |
| УБ  | 140          | 17                  | 14    | 13   | 159                     | 1250÷8000                         |
| УВ  | 250          | 22                  | 19    | 18   | 278                     | 2000÷8000                         |

*Примечание.* Стандартный ряд длин ремней: 400(425), 450(475), 500(530), 560(600), 630(670), 710(750), 800(850), 900(950), 1000(1060), 1120(1180), 1250(1320), 1400(1500), 1600(1700), 1800(1900), 2000(2120), 2240(2360), 2500(2650), 2800(3000), 3150(3350), 3550(3750), 4000(4250), 4500(4750), 5000(5300), 5600(6000), 6300(6700), 7100(7500), 8000(8500), 9000(9500), 10000(10600), 11200(11800), 12500(13200), 14000(15000), 16000(17000), 18000.

Допускаемые отклонения длины ремней колеблются в значительных пределах, поэтому для многоручьевых передач требуется тщательно подбирать комплекты ремней по длине. При выходе из строя одного ремня снимают весь комплект. Использование новых ремней с ремнями, бывшими в употреблении, недопустимо.

### 11.3.2.2. Расчет основных геометрических параметров передачи

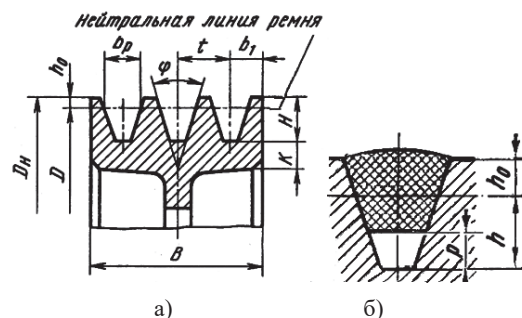


Рис. 11.16. Конструктивные размеры для клиновых ремней



Диаметры шкивов  $D_1$  и  $D_2$ . В клиноременной передаче расчетными диаметрами шкивов являются диаметры, соответствующие окружности расположения нейтрального слоя (рис. 11.16,  $a$  – диаметр  $D$ ).

Диаметр меньшего шкива определяют по эмпирической формуле

$$D_1 \approx (3 \div 4) \cdot \sqrt[3]{T_1},$$

где  $T_1$  – вращающий момент, Н·мм,  $D_1$  – в мм. Полученный результат округляют до стандартного значения, но не меньше минимального  $D_1$ , указанного в табл. 11.17.

Таблица 11.17

| Расчетные диаметры шкивов для передачи наибольших моментов |  |                         |               |                      |                         |               |                      |                         |
|--|--|-------------------------|---------------|----------------------|-------------------------|---------------|----------------------|-------------------------|
| Сечение ремня  | $T_{1, \text{Н·мм}}$   | $D_{1 \text{ min, мм}}$ | Сечение ремня | $T_{1, \text{Н·мм}}$ | $D_{1 \text{ min, мм}}$ | Сечение ремня | $T_{1, \text{Н·мм}}$ | $D_{1 \text{ min, мм}}$ |
| О  | <30  | 63                      | УО            | <150                 | 63                      | К             | 40                   | 40                      |
| А  | 15÷60  | 90                      | УА            | 90÷400               | 90                      | Л             | 18÷400               | 80                      |
| Б  | 50÷150   | 125                     | УБ            | 300÷2000             | 140                     | М             | >130                 | 180                     |
| В  | 120÷600  | 200                     | УВ            | >1500                | 224                     |               |                      |                         |
| Расчетные диаметры шкивов $D_2$                            | 63 71 80 90 100 112 125 140 160 180 200 224 250 280 315 355 400 450 500 560 630 710 800 900 1000<br>1120 1250 1400 1600 1800 2000 2240 2500 2800 3150 3550 4000. |                         |               |                      |                         |               |                      |                         |

Расчетный диаметр большого шкива  $D_2$  определяют, учитывая передаточное число

$$D_2 = D_1 u (1 - \varepsilon),$$

где  $\varepsilon = (v_1 - v_2) / v_1 = 0,01 \dots 0,02$  – коэффициент скольжения.

Полученный результат округляют до стандартного значения, указанного в табл. 11.17.

Наружный диаметр шкивов определяют по формуле (рис. 11.16).

$$D_H = D + 2h_0,$$

Межосевое расстояние,  $a$  для клиноременных передач определяют по аналогии с плоскоременной передачей. Для нормальной работы клиноременной передачи рекомендуется принимать:

$$a_{\text{min}} \geq 0,55(D_1 + D_2) + h,$$

$$a_{\text{max}} = 1,5(D_1 + D_2),$$

где  $D_1$  и  $D_2$  – диаметры ведущего и ведомого шкивов;  $h$  – высота сечения ремня.

Оптимальные межосевые расстояния  $a_{\text{опт}}$  в зависимости от передаточного числа  $u$  и диаметра большого шкива  $D_2$  приведены в табл. 11.18.

Таблица 11.18

| Оптимальные межосевые расстояния |     |      |     |      |     |            |
|----------------------------------|-----|------|-----|------|-----|------------|
| $a_{\text{опт}}/D_2$             | 1,5 | 1,22 | 1,0 | 0,95 | 0,9 | 0,85       |
| $u$                              | 1   | 2    | 3   | 4    | 5   | $u \geq 6$ |

Расчетная длина  $L$  ремня соответствует длине нейтрального слоя поперечного сечения ремня

$$L = 2a + \pi \frac{D_1 + D_2}{2} + \left( \frac{D_2 - D_1}{2} \right)^2 \frac{1}{a}.$$

Расчетную длину  $L$  ремня округляют до ближайшей большей длины клинового ремня выбранного типа по каталогу (табл. 11.16).

Межосевое расстояние

$$a = 0,25 \left[ (L - \Delta_1) + \sqrt{(L - \Delta_1)^2 - 2\Delta_2} \right], \text{ где } \Delta_1 = 0,5\pi(D_1 + D_2); \Delta_2 = (D_2 - D_1)^2.$$

Угол обхвата меньшего шкива

$$\alpha_1^\circ = 180 - 57 \frac{D_2 - D_1}{a} > [\alpha] = 120^\circ.$$

Расчетная скорость ремня, м/с

$$v = 0,5 D_1 \omega_1 = \frac{\pi D_1 n_1}{1000 \cdot 60} \leq [v],$$

где  $[v] = 25$  м/с – допускаемая предельная скорость для клинового ремня;  
 $[v] = 40$  м/с – допускаемая предельная скорость для узкого клинового ремня.  
 Для выбора ремня можно воспользоваться номограммой (рис. 11.17).

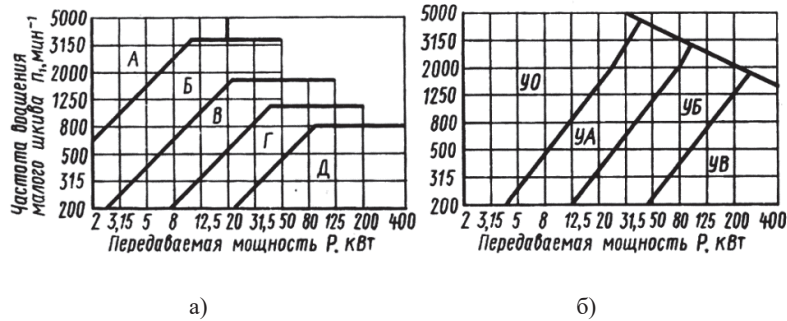


Рис. 11.17. Номограмма для выбора ремня:  
 а – клинового ремня; б – узкого клинового ремня

Необходимое число ремней  $z$  для передачи заданной мощности  $P$  определяют по формуле:

$$z = P / [p] \leq [z],$$

где  $[p] = P_0 C_a C_L C_p C_z$  – допускаемая мощность, передаваемая одним клиновым ремнем или одним узким клиновым ремнем проектируемой передачи;

$P_0$  – приведенная мощность, передаваемая одним клиновым ремнем или одним узким клиновым ремнем в условиях типовой передачи – мощность при угле обхвата  $\alpha_1 = 180^\circ$ , передаточном числе  $u = 1$ , спокойной нагрузке и базовой длине ремня  $L_0$  (табл. 11.19 и 11.20). Расчет выполняют по диаметру малого шкива  $D_1$ . При выборе диаметров  $D_1$  из числа стандартных следует учитывать, что при меньших  $D_1$  уменьшаются габариты передачи, но увеличивается число ремней. Остальные коэффициенты в табл. 11.21 – 11.24.

Таблица 11.19

$P_0$  – допускаемая приведенная мощность, кВт, передаваемая одним клиновым ремнем нормального сечения (выборка)

| Обозначение сечения ремня (расчетная длина – $L_0$ ) | Диаметр малого шкива $D_1$ , мм | $P_0$ , кВт, при скорости ремня $v$ , м/с |      |      |      |      |      |      |
|--|---------------------------------|---|------|------|------|------|------|------|
|  |                                 | 3   | 5    | 10   | 15   | 20   | 25   | 30   |
| О<br>(1320 мм)                                       | 63                              | 0,33                                      | 0,49 | 0,82 | 1,03 | 1,11 | –    | –    |
|  | 71                              | 0,37                                      | 0,56 | 0,95 | 1,22 | 1,37 | 1,40 | –    |
|  | 80                              | 0,43                                      | 0,62 | 1,07 | 1,41 | 1,60 | 1,65 | –    |
|  | 90                              | 0,49                                      | 0,67 | 1,16 | 1,56 | 1,73 | 1,90 | 1,85 |
|  | 100                             | 0,51                                      | 0,75 | 1,25 | 1,69 | 1,94 | 2,11 | 2,08 |
|  | 112                             | 0,54                                      | 0,80 | 1,33 | 1,79 | 2,11 | 2,28 | 2,27 |
| А<br>(1700 мм)                                       | 90                              | 0,71                                      | 0,84 | 1,39 | 1,75 | 1,88 | –    | –    |
|  | 100                             | 0,72                                      | 0,95 | 1,60 | 2,07 | 2,31 | 2,29 | –    |
|  | 112                             | 0,74                                      | 1,05 | 1,82 | 2,39 | 2,74 | 2,82 | 2,50 |
|  | 125                             | 0,80                                      | 1,15 | 2,00 | 2,66 | 3,10 | 3,27 | 3,14 |
|  | 140                             | 0,87                                      | 1,26 | 2,17 | 2,91 | 3,42 | 3,67 | 3,64 |
| Б<br>(2240 мм)                                       | 160                             | 0,97                                      | 1,37 | 2,34 | 3,20 | 3,78 | 4,11 | 4,17 |
|  | 125                             | 0,95                                      | 1,39 | 2,26 | 2,80 | –    | –    | –    |
|  | 140                             | 1,04                                      | 1,61 | 2,70 | 3,45 | 3,83 | –    | –    |
|  | 160                             | 1,16                                      | 1,83 | 3,15 | 4,13 | 4,73 | 4,88 | 4,47 |
|  | 180                             | 1,28                                      | 2,01 | 3,51 | 4,66 | 5,44 | 5,76 | 5,53 |
| В<br>(3750 мм)                                       | 200                             | 1,40                                      | 2,10 | 3,73 | 4,95 | 5,95 | 6,32 | 6,23 |
|  | 224                             | 1,55                                      | 2,21 | 4,00 | 5,29 | 6,57 | 7,00 | 7,07 |
|  | 200                             | –   | 2,77 | 4,59 | 5,80 | 6,33 | –    | –    |
|  | 224                             | –   | 3,15 | 5,35 | 6,95 | 7,86 | 7,95 | 7,06 |
| В<br>(3750 мм)                                       | 280                             | –   | 3,48 | 6,02 | 7,94 | 9,18 | 9,60 | 9,05 |

Таблица 11.20

**Допускаемая приведенная мощность  $P_0$ , кВт, передаваемая одним узким клиновым ремнем (выборка)**

| Обозначение сечения ремня<br>(расчетная длина – $L_0$ ) | Диаметр малого шкива $D_1$ , мм | $P_0$ , кВт, при скорости ремня $v$ м/с |      |      |      |      |      |      |
|---|---------------------------------|---|------|------|------|------|------|------|
|   |                                 | 3                                       | 5    | 10   | 15   | 20   | 25   | 30   |
| УО<br>(1600 мм)   | 63                              | 0,68                                    | 0,95 | 1,50 | 1,80 | 1,85 | –    | –    |
|   | 71                              | 0,78                                    | 1,18 | 1,95 | 2,46 | 2,73 | 2,65 | –    |
|   | 80                              | 0,90                                    | 1,38 | 2,34 | 3,06 | 3,50 | 3,66 | –    |
|   | 90                              | 0,92                                    | 1,55 | 2,65 | 3,57 | 4,20 | 4,50 | 4,55 |
|   | 100                             | 1,07                                    | 1,66 | 2,92 | 3,95 | 4,72 | 5,20 | 5,35 |
|   | 112                             | 1,15                                    | 1,80 | 3,20 | 4,35 | 5,25 | 5,85 | 6,15 |
| УА<br>(2500 мм)   | 125                             | 1,22                                    | 1,90 | 3,40 | 4,70 | 5,70 | 6,42 | 6,85 |
|   | 90                              | 1,08                                    | 1,56 | 2,57 | –    | –    | –    | –    |
|   | 100                             | 1,26                                    | 1,89 | 3,15 | 4,04 | 4,46 | –    | –    |
|   | 112                             | 1,41                                    | 2,17 | 3,72 | 4,88 | 5,61 | 5,84 | –    |
|   | 125                             | 1,53                                    | 2,41 | 4,23 | 5,67 | 6,0  | 7,12 | 7,10 |
|   | 140                             | 1,72                                    | 2,64 | 4,70 | 6,30 | 7,56 | 8,25 | 8,43 |
| УБ<br>(3550 мм)   | 160                             | 1,84                                    | 2,88 | 5,17 | 7,03 | 8,54 | 9,51 | 9,94 |
|   | 140                             | 1,96                                    | 2,95 | 5,00 | 6,37 | –    | –    | –    |
|   | 160                             | 2,24                                    | 3,45 | 5,98 | 7,88 | 9,10 | 9,49 | –    |
|   | 180                             | 2,46                                    | 3,80 | 6,70 | 9,05 | 10,6 | 11,4 | 11,5 |
| УВ<br>(5600 мм)   | 200                             | 2,64                                    | 4,12 | 7,30 | 10,0 | 11,9 | 13,1 | 13,3 |
|   | 224                             | 2,81                                    | 4,26 | 7,88 | 10,7 | 13,0 | 14,6 | 15,1 |
|   | 250                             | –                                       | 6,05 | 10,6 | –    | 16,6 | 17,1 | –    |
|   | 280                             | –                                       | 6,60 | 11,5 | –    | 18,7 | 20,7 | –    |
|   | 315                             | –                                       | 7,08 | 12,8 | –    | 20,9 | 23,9 | 22,7 |

Значения коэффициентов  $C_a, C_v, C_p, C_L$  и  $C_Z$  (табл. 11.21 – 11.25).

Таблица 11.21

**$C_a$  – коэффициент угла обхвата**

| $\alpha^\circ$ | 180 | 160  | 140  | 120  | 100  | 90   | 70   |
|----------------|-----|------|------|------|------|------|------|
| $C_a$          | 1,0 | 0,95 | 0,89 | 0,82 | 0,83 | 0,68 | 0,56 |

Таблица 11.22

**$C_v$  – коэффициент, учитывающий центробежную силу**

| сечение | О    | А   | Б    | В   | Г   | Д   | Е   |
|---------|------|-----|------|-----|-----|-----|-----|
| $C_v$   | 0,06 | 0,1 | 0,18 | 0,3 | 0,6 | 0,9 | 1,5 |

Таблица 11.23

**$C_p$  – коэффициент режима работы**

| Характер нагрузки | Спокойная | Умеренные колебания | Значительные колебания | Ударная, резкие колебания |
|-------------------|-----------|---------------------|------------------------|---------------------------|
| $C_p$             | 1         | 0,9                 | 0,8                    | 0,7                       |

*Примечание.* При двухсменной работе  $C_p$  уменьшают на 0,1, при трехсменной – на 0,2.

Таблица 11.24

**$C_L$  – коэффициент, учитывающий влияние длины ремня (выборка)**

| L, мм | $C_L$ при сечении ремня |      |      |      |      |      |
|-------|-------------------------|------|------|------|------|------|
|       | О                       | А    | Б    | В    | Г    | Д    |
| 400   | 0,79                    |      |      |      |      |      |
| 500   | 0,81                    |      |      |      |      |      |
| 560   | 0,82                    | 0,79 |      |      |      |      |
| 710   | 0,86                    | 0,83 |      |      |      |      |
| 900   | 0,92                    | 0,87 | 0,82 |      |      |      |
| 1000  | 0,95                    | 0,90 | 0,85 |      |      |      |
| 1250  | 0,98                    | 0,93 | 0,88 |      |      |      |
| 1500  | 1,03                    | 0,98 | 0,92 |      |      |      |
| 1800  | 1,06                    | 1,01 | 0,95 | 0,86 |      |      |
| 2000  | 1,08                    | 1,03 | 0,98 | 0,88 |      |      |
| 2240  | 1,10                    | 1,06 | 1,00 | 0,91 |      |      |
| 2500  | 1,30                    | 1,09 | 1,03 | 0,93 |      |      |
| 2800  | –                       | 1,11 | 1,05 | 0,95 |      |      |
| 3150  | –                       | 1,13 | 1,07 | 0,97 | 0,86 |      |
| 4000  | –                       | 1,17 | 1,13 | 1,02 | 0,91 |      |
| 4750  | –                       | –    | 1,17 | 1,06 | 0,95 | 0,91 |
| 5300  | –                       | –    | 1,19 | 1,08 | 0,97 | 0,94 |

Для клиноременных передач рекомендуется ограничить значение  $[z] \leq 8 \dots 10$ , так как теряется эффект из-за неравномерности нагружения (табл. 11.25).

| $C_z$ – коэффициент, учитывающий неравномерность нагрузки с учетом количества ремней в передаче |       |       |       |
|---|-------|-------|-------|
| $z$   | 2 – 3 | 4 – 6 | св. 6 |
| $C_z$   | 0,95  | 0,90  | 0,85  |

Для удобства монтажа и эксплуатации передачи рекомендуется ограничивать число  $z$ ; если же по расчету получается  $z > 8 \dots 10$ , то следует увеличить  $D_1$  и соответственно  $D_2$  или перейти к большему сечению ремня.

Сила  $F_0$  предварительного натяжения ветвей клинового ремня, Н

$$F_0 = \frac{850PC_L}{z \nu C_a C_p},$$

где  $\nu$  – в м/с.  
Окружная сила

$$F_t = \frac{P \cdot 10^3}{\nu}.$$

Силы натяжения ветвей ремня:  
ведущей

$$F_1 = F_0 + \frac{F_t}{2z};$$

ведомой

$$F_1 = F_0 - \frac{F_t}{2z}.$$

Сила, действующая на валы, Н

$$F_B = 2F_0z \sin(\alpha_1/2).$$

Рабочий ресурс ремней клиноременной передачи, ч.  
Для оценки долговечности проверяют число пробегов ремня

$$U = \nu / L < [U] = 30 \text{ с}^{-1},$$

где  $U$  – число пробегов ремня в секунду;  $\nu$  – скорость ремня, м/с;  $L$  – длина ремня, м.  
Ресурс наработки ремня

$$T = T_{cp} K_1 K_2,$$

где  $T_{cp} = 2000$  ч – наработка при среднем режиме эксплуатации;  $K_1$  – коэффициент, учитывающий характер нагрузки (табл. 7.26).

Таблица 7.26

| $K_1$ – коэффициент, учитывающий характер нагрузки |           |                     |                        |                              |
|--|-----------|---------------------|------------------------|------------------------------|
| Характер нагрузки                                  | Спокойная | Умеренные колебания | Значительные колебания | Ударная или резко переменная |
| $K_1$  | 2,5       | 1,0                 | 0,5                    | 0,25                         |

$K_2$  – коэффициент, учитывающий климатические условия,  $K_2=1$  – центральные зоны;  $K_2=0,75$  – зоны с холодным климатом.

$T \geq 5000$  ч при легком режиме работы, 2000 ч – при среднем и 1000 ч – при тяжелом режиме работы.

### Проверочный расчет

Проверка прочности клинового ремня по максимальным напряжениям в сечении ведущей ветви ремня

$$\sigma_{max} = \sigma_1 + \sigma_u + \sigma_v \leq [\sigma_p], \text{ Н/мм}^2.$$

$$\sigma_1 = \frac{F_0}{A} + \frac{F_t}{2zA} - \text{напряжение от растяжения клиновых ремней, Н/мм}^2; A - \text{площадь сечения ремня, мм}^2,$$

(по табл. 11.16);  $z$  – количество ремней.

$$\sigma_{II} = \frac{E_{II}h}{d_1} - \text{напряжение от изгиба для клиновых ремней, Н/мм}^2.$$

$E_{II} = 80...100$  МПа – модуль продольной упругости при изгибе для резинотканевых ремней.

Напряжение от центробежной силы

$$\sigma_v = \rho v^2 - \text{напряжение от центробежных сил, Н/мм}^2.$$

где  $\rho$  – плотность материала ремня, кг/м<sup>3</sup>,  $v$ , м/с

$$\rho = 1250 \div 1400 \text{ кг/м}^3 - \text{для клиновых ремней.}$$

$[\sigma_p] = 10$  Н/мм<sup>2</sup> – допускаемое напряжение на растяжение для клиновых ремней, Н/мм<sup>2</sup>.

### Пример

Определить параметры клиноременной передачи от электродвигателя к редуктору. Передаваемая мощность 7,5 кВт,  $n = 1455$  мин<sup>-1</sup>,  $u = 3$ .

### Вычисление

**Диаметр малого и большого шкива.** По графику на рис 11.17,  $a$  выбираем клиновой ремень нормального сечения Б, для которого минимальный расчетный диаметр малого шкива  $D_{\min} = 125$  мм. Для увеличения тяговой способности, КПД и долговечности выбираем (по табл. 11.17)  $D_1 = 140$  мм. Тогда

$$D_2 = D_1 \cdot u = 140 \cdot 3 = 420 \text{ мм, т.к. требования не приведены, то выбираем } D_2 = 400 \text{ мм.}$$

Окружная скорость ремня:

расчетная скорость ремня, м/с

$$v = 0,5 D_1 \omega_1 = \frac{\pi D_1 n_1}{60} = \pi \cdot 140 \cdot 1455 / 60 \cdot 10^3 \text{ м/с} = 10,66 \text{ м/с.}$$

Минимальное межосевое расстояние, учитывая, что высота сечения выбранного ремня составляет  $h = 10,5$  мм

$$a_{\min} \geq 0,55(D_1 + D_2) + h = 0,55 \cdot (140 + 400) + 10,5 \text{ мм} = 307,5 \text{ мм, принимаем } a = 355 \text{ мм.}$$

Расчетная длина  $L$  ремня соответствует длине нейтрального слоя поперечного сечения ремня.  $L$  определяют по формуле:

$$L = 2a + \pi \frac{D_1 + D_2}{2} + \left( \frac{D_2 - D_1}{2} \right)^2 \frac{1}{a} = 2 \cdot 355 + 848,23 + 47,60 = 1605,48 \text{ мм.}$$

Принимаем 1600 мм.

Окончательно межосевое расстояние

$$a = 0,25 \left[ (L - \Delta_1) + \sqrt{(L - \Delta_1)^2 - 2\Delta_2} \right] = 0,25 [752 + 655,7] = 351,9,$$

$$\text{где } \Delta_1 = 0,5\pi(D_1 + D_2); \Delta_2 = (D_2 - D_1)^2;$$

оставляем ранее принятое межосевое расстояние  $a = 355$  мм;

проверяем угол охвата малого шкива

$$\alpha_1^\circ = 180 - 57 \frac{D_2 - D_1}{a} = 180 - 57 \cdot 260 / 355 = 138,25^\circ > [\alpha] = 90^\circ;$$

проверяем число пробегов ремня

$$U = v / L = 10,66 / 1,6 = 6,66 \text{ с}^{-1} < [U] = 30 \text{ с}^{-1}.$$

Определяем расчетную мощность, передаваемую одним ремнем. Для выбранного ремня по табл. 11.19 находим номинальную мощность  $P_0 = 2,7$  кВт; длину  $L_p = 2240$  мм.

$$[p] = P_0 C_\alpha C_L C_p C_z = 2,7 \cdot 0,89 \cdot 0,96 \cdot 0,12 \cdot 0,9 = 2,49 \text{ кВт.}$$

$$C_\alpha = 0,89; C_L = 0,96; C_p = 1,2; C_z = 0,9.$$

Определяем число ремней

$$z = P / [p] = 7,5 / 2,49 = 3 \leq [z] = 8, \text{ что удовлетворяет требованиям к передаче.}$$

Определяем натяжение ветвей клинового ремня. Сила  $F_0$  предварительного натяжения ветвей клинового ремня, Н

$$F_0 = \frac{850 P C_L}{z \nu C_\alpha C_p} = 850 \cdot 7,5 \cdot 1,2 \cdot 0,96 / 3 \cdot 10,66 \cdot 0,89 = 278 \text{ Н.}$$

Определяем нагрузку на валы

$$F_B = 2 F_0 z \sin(\alpha_1/2) = 2 \cdot 278 \cdot 3 \cdot \sin 138/2 = 1557 \text{ Н.}$$

### 11.3.3. ПЕРЕДАЧИ С ПОЛИКЛИНОВЫМИ РЕМНЯМИ

В промышленности нашли применение передачи с гибкой связью, в состав которых входят шкивы, соединенные ремнем, у которого несколько клиновидных ремней соединены общим основанием (рис. 11.18, а). Ремни этого вида получили название поликлиновых ремней.

Клинья, которые образуют профильную часть поликлинового ремня, имеют отклонения размеров по профилю и по длине значительно меньшие, чем у такого же комплекта клиновых ремней. Поэтому нагрузка, передаваемая шкивом с идентичным профилем желобов на его поверхности (рис. 11.18, б), воспринимается клиньями поликлинового ремня более равномерно. В сочетании с более прочной конструкцией ремня это обеспечило более высокую тяговую способность поликлинового ремня.

Для поликлиновых ремней рабочей поверхностью шкива (рис. 11.18, б) являются боковые стороны клиновых канавок в ободе шкива. Угол клина канавок шкива  $\varphi = 40^\circ$  независимо от диаметра шкива.

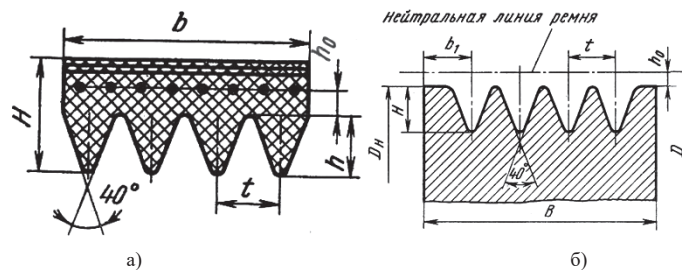


Рис. 11.18. Сечение поликлинового: а – ремня; б – шкива

Изготавливают поликлиновые ремни трех сечений: К, Л и М (табл. 11.27).

Таблица 11.27

| Сечение ремня | Размеры, мм |      |       |     | А, мм <sup>2</sup> | Предельные расчетные длины, мм | Число клиньев*) [z] | T <sub>1</sub> , Н·м | Масса, кг/м | Заменяемые сечения клин. ремней |
|---------------|-------------|------|-------|-----|--------------------|--------------------------------|---------------------|----------------------|-------------|---------------------------------|
|               | t           | H    | h     | b   |                    |                                |                     |                      |             |                                 |
| К             | 2,4         | 4    | 2,35  | 1,0 | 54                 | 400...2000                     | 2...36/36           | 40                   | 0,09        | О и А                           |
| Л             | 4,8         | 9,5  | 4,85  | 2,4 | 291                | 1250...4000                    | 4...20/50           | 18-400               | 0,45        | А, Б и В                        |
| М             | 9,5         | 16,7 | 10,35 | 3,5 | 954                | 2000...6000                    | 4...20/50           | 130                  | 1,6         | В, Г, Д и Е                     |

Примечания: 1. А<sub>1</sub> – площадь поперечного сечения ; \* Рекомендуемое/предельное.  
2. Расчетные длины L ремней: 400, 450, 500, 560, 630, 710, 800, 900, 1000, 1120, 1250, 1400, 1600, 1800, 2000, 2240, 2500, 2800, 3150, 3550, 4000, 4500, 5000, 5600, 6300, 7100, 8000, 9000, 10000.



| Размеры профиля шкивов для поликлиновых ремней, $\varphi=40^\circ$   |     |       |       |       |                               |
|--|-----|-------|-------|-------|-------------------------------|
| Сечение ремня  | $t$ | H     | $b_1$ | $h_0$ | Расчетные диаметры $D$ шкивов |
| К  | 2,4 | 2,35  | 3,5   | 1,0   | 25 – 500                      |
| Л  | 4,8 | 4,85  | 5,5   | 2,4   | 80 – 800                      |
| М  | 9,5 | 10,35 | 10,0  | 3,5   | 180 – 1000                    |
| <i>Примечание.</i> Расчетные диаметры шкивов 63 71 80 90 100 112 125 140 160 180 200 224 250 280 315 355 400 450 500 560 630 710 800 900 1000 1120 1250 1400 1600 1800 2000 2240 2500 2800 3150 3550 4000. |     |       |       |       |                               |

Поликлиновые ремни сочетают достоинства плоских и клиновых ремней. Благодаря высокой гибкости допускают применение шкивов малых диаметров. Могут работать при скоростях  $v < 40$  м/с. Корд и рабочая поверхность расположены по всей ширине ремня, поэтому при одинаковой мощности ширина шкивов для поликлиновых ремней в 1,5...2 раза меньше ширины шкивов передач.

Поликлиновые ремни могут быть применены взамен отдельных клиновых ремней или их комплектов с целью сокращения габаритов. При передаче одинаковой мощности ширина поликлинового ремня может быть примерно в два раза меньше, чем у комплекта клиновых ремней. Ремень сечения К применяют вместо клиновых ремней сечений О и Л для передачи момента  $T_1 \leq 40$  Н·м; ремень сечения Л – вместо клиновых ремней А, Б и В для передачи момента  $T_1 \leq 18-400$  Н·м; ремень сечения М – вместо клиновых ремней В, Г, Д и Е для передачи момента  $T_1 > 130$  Н·м (где  $T_1$  – момент на быстроходном валу) (табл. 11.27). Если могут быть применены ремни двух сечений, предпочтение следует отдавать ремню с меньшим сечением. Рекомендуют применять поликлиновые ремни с четным числом клиньев.

### Расчет основных геометрических параметров передачи

Диаметры шкивов  $D_1$  и  $D_2$ . В поликлиноременной передаче расчетными диаметрами шкивов являются диаметры, соответствующие окружности расположения нейтрального слоя ремня (рис. 11.18,  $b$  – диаметр  $D$ ).

Расчетная угловая скорость меньшего шкива, рад/с

$$\omega_1 = \frac{\pi n_1}{60}$$

Выбор ремня производят по номограмме (рис. 11.19).

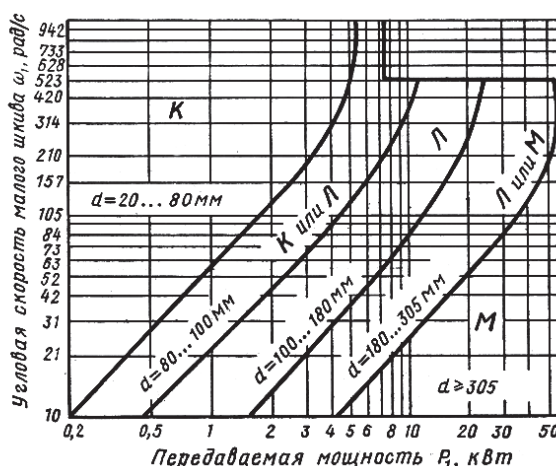


Рис. 11.19. Номограмма для выбора поликлинового ремня

Расчетный момент на быстроходном валу

$$T_1 = \frac{30P}{\pi n_1 C_p}, \text{ Н,}$$

где  $P$  – заданная передаваемая мощность, Вт;  $n_1$  – частота вращения меньшего шкива. Диаметр меньшего шкива выбирают по следующей приближенной зависимости:

$$D_1 \approx 3 \cdot \sqrt[3]{T_1},$$

где  $T_1$  – момент в Н·мм; диаметр  $D_1$  – в мм.

По табл. 11.29 принимаем минимальный расчетный диаметр малого шкива.

Расчетные диаметры  $D_{1\min}$  шкивов для передачи наибольших моментов

| Сечение ремня | $T_1, \text{Н}\cdot\text{м}$ | $D_{1\min}, \text{мм}$ |
|---------------|------------------------------|------------------------|
| К             | 40                           | 40                     |
| Л             | 18÷400                       | 80                     |
| М             | >130                         | 180                    |

Рекомендуемые величины межосевых расстояний  $a$  в зависимости от передаточного отношения  $u$ 

| $u$     | 1   | 2 | 3   | 4 | 5   | 6 | 7   |
|---------|-----|---|-----|---|-----|---|-----|
| $a/D_1$ | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 | 3,5 | 4 | 4,5 |

Расчетный диаметр большого шкива  $D_2$  определяют, учитывая передаточное число

$$D_2 = D_1 u (1 - \varepsilon),$$

где  $\varepsilon = (v_1 - v_2) / v_1 = 0,01 \dots 0,02$  – коэффициент скольжения.

По табл. 11.28 принимаем минимальный расчетный диаметр большого шкива.

Наружный диаметр шкива  $D_u = D - 2h_0$ . Диапазон расчетных диаметров шкивов приведен в табл. 11.28.

Определяем окружную скорость ремня

$$v = 0,5 D_1 \omega_1 = \frac{\pi D_1 n_1}{1000 \cdot 60} \leq [v],$$

где  $[v] = 40$  м/с – допускаемая скорость для поликлинового ремня.

Число клиньев поликлиновых ремней, необходимое для передачи заданной мощности  $P$  (двигателя),

$$z = \frac{10P}{[p]} \leq [z],$$

где  $[p] = P_0 C_\alpha C_L C_p$  – допускаемая мощность, кВт, передаваемая десятью клиньями поликлинового ремня.

Рекомендуемые значения  $[z]$  чисел клиньев поликлиновых ремней в табл. 11.27.

$P_0$  – допускаемая приведенная мощность, кВт, для передачи десятью клиньями поликлинового ремня в условиях типовой передачи – мощность при угле обхвата  $\alpha_1 = 180^\circ$ , передаточном числе  $u = 1$ , спокойной нагрузке и базовой длине ремня  $L_0$  (табл. 11.31). Расчет выполняют по диаметру малого шкива  $D_1$ . При выборе диаметров  $D_1$  из числа стандартных следует учитывать, что при меньших  $D_1$  уменьшаются габариты передачи, но увеличивается число клиньев.

Допускаемая приведенная мощность  $P_0$ , кВт, передаваемая десятью клиньями поликлинового ремня (выборка)

| Обозначение сечения ремня (расчетная длина – $L_0$ ) | Диаметр малого шкива $D_1$ , мм | $P_0$ , кВт, при скорости ремня $v$ , м/с |       |      |      |      |      |      |      |
|--|---------------------------------|---|-------|------|------|------|------|------|------|
|  |                                 | 2   | 3     | 5    | 10   | 15   | 20   | 25   | 30   |
| К<br>(710 мм)  | 40                              | 0,65                                      | 0,90  | 1,40 | 2,40 | 3,2  | 3,7  | –    | –    |
|  | 45                              | 0,70                                      | 0,98  | 1,55 | 2,70 | 3,6  | 4,3  | 4,9  | –    |
|  | 50                              | 0,76                                      | 1,06  | 1,65 | 2,90 | 4,0  | 4,8  | 5,3  | –    |
|  | 63                              | 0,85                                      | 1,18  | 1,86 | 3,40 | 4,6  | 5,7  | 6,4  | 6,8  |
|  | 71                              | 0,88                                      | 1,25  | 2,0  | 3,60 | 4,9  | 6,0  | 6,9  | 7,4  |
|  | 80                              | 0,92                                      | 1,30  | 2,05 | 3,70 | 5,2  | 6,4  | 7,3  | 7,9  |
|  | 90                              | 0,95                                      | 1,35  | 2,15 | 3,90 | 5,4  | 6,7  | 8,0  | 8,7  |
| Л<br>(1600 мм)                                       | 100                             | 0,97                                      | 1,38  | 2,20 | 4,0  | 5,6  | 6,9  | 9,2  | 9,1  |
|  | 80                              | 1,9                                       | 2,57  | 3,9  | 6,4  | 7,9  | 8,3  | –    | –    |
|  | 90                              | 2,2                                       | 2,96  | 4,5  | 7,6  | 9,7  | 10,8 | –    | –    |
|  | 100                             | 2,3                                       | 3,2   | 5,0  | 8,6  | 11,2 | 12,7 | 13,0 | –    |
|  | 112                             | 2,54                                      | 3,53  | 5,5  | 9,6  | 12,7 | 14,7 | 15,3 | –    |
|  | 125                             | 2,7                                       | 3,76  | 5,9  | 10,4 | 13,9 | 16,3 | 17,4 | 17,0 |
| М<br>(2240 мм)                                       | 140                             | 2,9                                       | 4,04  | 6,3  | 11,0 | 15,0 | 17,8 | 19,2 | 19,0 |
|  | 180                             | 7,1                                       | 9,57  | 14,5 | 24,0 | 30,2 | 32,8 | 31,8 | 24,2 |
|  | 200                             | 7,7                                       | 10,56 | 16,3 | 27,7 | 35,8 | 38,3 | 40,4 | 35,4 |
|  | 224                             | 8,5                                       | 11,67 | 18,0 | 31,3 | 41,2 | 47,5 | 49,5 | 46,3 |

Значения коэффициентов  $C_\alpha, C_v, C_p$  и  $C_L$  (табл. 11.32...11.35).

Таблица 11.32

| C <sub>α</sub> – коэффициент угла обхвата |     |      |      |      |      |      |      |
|---|-----|------|------|------|------|------|------|
| α°  | 180 | 170  | 160  | 150  | 140  | 130  | 120  |
| C <sub>α</sub>                            | 1,0 | 0,98 | 0,95 | 0,92 | 0,89 | 0,86 | 0,83 |

Таблица 11.33

| C <sub>v</sub> – коэффициент, учитывающий центробежную силу |      |      |    |      |      |      |     |
|---|------|------|----|------|------|------|-----|
| Скорость ремня, м/с   | 1    | 2    | 10 | 15   | 20   | 25   | 30  |
| C <sub>v</sub>  | 1,05 | 1,04 | 1  | 0,94 | 0,85 | 0,74 | 0,6 |

Таблица 11.34

| C <sub>p</sub> – коэффициент режима работы |           |                     |                        |                           |
|--|-----------|---------------------|------------------------|---------------------------|
| Характер нагрузки                          | Спокойная | Умеренные колебания | Значительные колебания | Ударная, резкие колебания |
| C <sub>p</sub>                             | 1         | 0,9                 | 0,8                    | 0,7                       |

*Примечание.* При двухсменной работе C<sub>p</sub> уменьшают на 0,1, при трехсменной – на 0,2.

Таблица 11.35

| C <sub>L</sub> – коэффициент, учитывающий влияние длины ремня L в зависимости от отношения расчетной длины ремня к базовой длине L <sub>0</sub> |      |      |      |     |      |      |
|---|------|------|------|-----|------|------|
| L / L <sub>0</sub>  | 0,4  | 0,6  | 0,8  | 1,0 | 1,2  | 1,4  |
| C <sub>L</sub>  | 0,85 | 0,91 | 0,96 | 1,0 | 1,03 | 1,06 |

Сила F<sub>0</sub> предварительного натяжения ветвей клинового ремня, Н

$$F_0 = \frac{850PC_L}{vC_\alpha C_p}, \text{ где } v - \text{ в м/с.}$$

Ниже приведены значения начальных натяжений на один клин поликлиновых ремней (табл. 11.36).

Таблица 11.36

| Значения начальных натяжений на один клин поликлиновых ремней |       |         |          |
|---|-------|---------|----------|
| Сечение ремня   | К     | Л       | М        |
| F <sub>0</sub> , Н  | 40-95 | 110-300 | 420-1200 |

Окружная сила

$$F_t = \frac{P \cdot 10^3}{v}$$

Силы натяжения ветвей ремня:  
ведущей

$$F_1 = F_0 + \frac{F_t}{2};$$

ведомой

$$F_2 = F_0 - \frac{F_t}{2}.$$

Сила, действующая на валы, Н

$$F_B = 2F_0 \sin(\alpha_1/2).$$

Рабочий ресурс ремней, ч. Для оценки долговечности проверяют число пробегов ремня

$$U = v/L < [U] = 30 \text{ с}^{-1},$$

где U – число пробегов ремня в секунду; v – скорость ремня, м/с; L – длина ремня, м.

Ресурс наработки ремня

$$T = T_{cp} K_1 K_2 = 2000 \cdot 2,5 \cdot 1 = 5000 \text{ ч,}$$

где T<sub>cp</sub> = 2000 ч – наработка при среднем режиме эксплуатации.

| Характер нагрузки | $K_I$ – коэффициент, учитывающий характер нагрузки |                     |                        |                              |
|-------------------|--|---------------------|------------------------|------------------------------|
|                   | Спокойная  | Умеренные колебания | Значительные колебания | Ударная или резко переменная |
| $K_I$             | 2,5  | 1,0                 | 0,5                    | 0,25                         |

$K_2$  – коэффициент, учитывающий климатические условия:  $K_2=1$  – центральные зоны;  $K_2=0,75$  – зоны с холодным климатом.

$T \geq 5000$  ч при легком режиме работы, 2000 ч – при среднем и 1000 ч – при тяжелом режиме работы.

### Проверочный расчет

Проверка прочности ремня по максимальным напряжениям в сечении ведущей ветви ремня

$$\sigma_{\max} = \sigma_I + \sigma_u + \sigma_v \leq [\sigma_p], \text{ Н/мм}^2;$$

$\sigma_I = \frac{F_0}{A} + \frac{F_t}{2A}$  – напряжение от растяжения для поликлиновых ремней, Н/мм<sup>2</sup>;  $A$  – площадь сечения ремня по табл. 11.27, мм<sup>2</sup>;

$\sigma_{II} = \frac{E_H H}{d_1}$  – напряжение от изгиба для поликлиновых ремней, Н/мм<sup>2</sup>.

$E_H = 80 \dots 100$  МПа – модуль продольной упругости при изгибе для резинотканевых ремней.

Напряжение от центробежной силы

$$\sigma_v = \rho v^2 \text{ – напряжение от центробежных сил, Н/мм}^2,$$

где  $\rho$  – плотность материала ремня, кг/м<sup>3</sup>,  $v$ , м/с;

$\rho = 1250 \div 1400$  кг/м<sup>3</sup> – для поликлиновых ремней;

$[\sigma_p] = 8$  Н/мм<sup>2</sup> – допускаемое напряжение на растяжение, Н/мм<sup>2</sup>, для поликлиновых ремней.

### 11.3.4. ПЕРЕДАЧИ С ЗУБЧАТЫМИ РЕМНЯМИ

Передача зубчатым ремнем в отличие от других ременных передач работает зацеплением и без скольжения; тем самым она обеспечивает синхронное вращение валов. Состоит передача из двух или большего числа шкивов и зубчатого ремня (рис. 11.20, а).

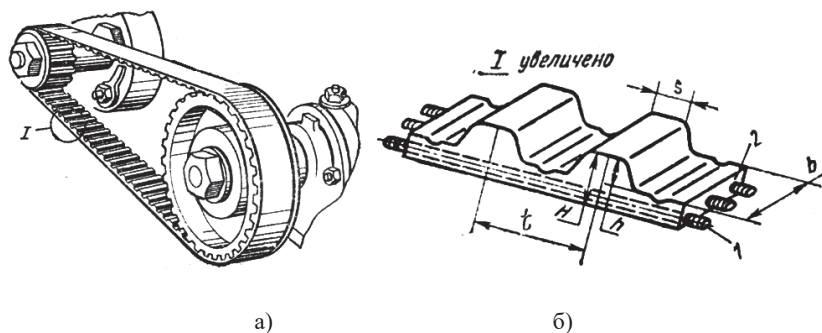


Рис. 11.20. Зубчаторемennая передача и ее ремень

Зубчатые ремни изготавливают из неопрена или полиуретана, армированные стальным канатом, стекловолокном или полиамидным шнуром. Эти ремни способны передавать вращающий момент при условии постоянства передаточного числа (проскальзывание ремня исключено) с высокими окружными скоростями (до 80 м/с). Их применяют в кинематических механизмах станков, приборах, бытовой технике.

Зубчатые ремни (рис. 11.20, б) имеют несущий элемент в виде металлических тросов 1, находящихся в основе 2 из маслостойкой резины или пластмассы. Такая конструкция позволяет работать передаче в масле. Зубья для повышения их износостойкости покрыты нейлоновой или другой тканью.

Зубчаторемennая передача компактнее по сравнению с обычной ременной передачей. Она работает более плавно, с меньшим шумом по сравнению с цепной передачей и не требует напряженного ухода и смазывания.

Зубчаторемennую передачу применяют для передачи мощности до 100 кВт; работает она в диапазоне скоростей от 5 ÷ 50 м/с, с передаточным числом –  $u \leq 12$  и наибольшим КПД –  $\eta \approx 0,98$ .

Основной размерный параметр – модуль зацепления  $m$ . Остальные размеры выражаются в функции модуля

$$m = t / \pi,$$

где  $t$  – окружной шаг;  $m$  – модуль (ряд  $m = 2, 3, 4, 5, 7, 10$ ).

Основные параметры зубчатых ремней с углом профиля зуба  $2\alpha^\circ = 40^\circ$  приведены в табл. 11.38.

Основные параметры зубчатых ремней

| Параметр  | Модуль $m$ , мм |         |           |       |       |       |
|---|-----------------|---------|-----------|-------|-------|-------|
|   | 2               | 3       | 4         | 5     | 7     | 10    |
| Шаг зубьев $t$ , мм                                       | 6,28            | 9,42    | 12,57     | 15,71 | 21,99 | 31,42 |
| Толщина ремня $H$ , мм                                    | 3,0             | 4,0     | 5,0       | 6,5   | 11,0  | 15,0  |
| Высота зуба $h$ , мм                                      | 1,5             | 2,0     | 2,5       | 3,5   | 6,0   | 9,0   |
| Наименьшая толщина зуба $s$ , мм                          | 1,8             | 3,2     | 4,4       | 5,0   | 8,0   | 12,0  |
| Угол профиля зуба $2\alpha^\circ$                         | 50              | 40      | 40        | 40    | 40    | 40    |
| Диаметр троса $d_{тр}$ , мм                               | 0,36            | 0,36    | 0,36/0,65 | 0,65  | 0,65  | 0,65  |
| Ширина зубчатого ремня $b$ , мм                           | 8÷16            | 12,5÷26 | 20÷40     | 25÷50 | 50÷80 | 50÷80 |
| Расстояние от оси троса до впадины зуба ремня, $t_p$ , мм | 0,6             | 0,6     | 0,8       | 0,8   | 0,8   | 0,8   |

*Примечание.* Ширину ремня согласуют с рядом значений: 8;10;12,5;16;20;25;32;40;50;63;80.

**Выбор параметров передачи и ее расчет**

Расчет передачи ведется из условий прочности ремня. Модуль  $m$  передачи зубчатым ремнем вычисляют в зависимости от передаваемой мощности  $P$  и угловой скорости  $\omega_1$  быстроходного вала.

$$m = 1,65 \cdot 10^{-3} \sqrt[3]{P/\omega_1} \quad \text{или} \quad m \approx 35 \cdot \sqrt[3]{P/n_1},$$

где  $n_1$  – частота вращения ведущего (малого) шкива,  $\text{мин}^{-1}$ .

Из возможных вариантов лучше применять ремни с меньшим модулем, это уменьшает диаметры шкивов и центробежные силы, снижает шум и массу передачи, но увеличивает ширину ремня (табл. 11.39).

Таблица 11.39

Значения модуля  $m$  зубчатого ремня

| Передаваемая мощность $P$ , кВт | Угловая скорость малого шкива $\omega$ , рад/с |      |      |       |       |
|---------------------------------|--|------|------|-------|-------|
|                                 | 350  | 180  | 125  | 90    | 70    |
|                                 | Рекомендуемый модуль ремня $m$ , мм            |      |      |       |       |
| 0,4                             | 3  | 3    | 3    | 3; 4  | 3; 4  |
| 1,5                             | 3  | 3; 4 | 3; 4 | 4     | 4     |
| 5,5                             | 4  | 4    | 4    | 4; 5  | 4; 5  |
| 7,5                             | 4  | 5; 7 | 5; 7 | 5; 7  | 5; 7  |
| 17                              | 5; 7   | 5; 7 | 7    | 7     | 7     |
| 30                              | 5; 7   | 7    | 7    | 7; 10 | 7; 10 |

Число зубьев меньшего шкива.  $z_1$  определяют по табл. 11.40.

Таблица 11.40

Выбор числа зубьев меньшего шкива

| Модуль ремня $m$ , мм | Частота вращения быстроходного вала $n_1$ , $\text{мин}^{-1}$ | Число зубьев $z_1$ | Модуль ремня $m$ , мм | Частота вращения быстроходного вала $n_1$ , $\text{мин}^{-1}$ | Число зубьев $z_1$ |
|-----------------------|---|--------------------|-----------------------|---|--------------------|
| 2                     | 500-3000  | 12                 | 5                     | 500   | 16                 |
|                       | 3500-4500   | 14                 |                       | 1000-1500   | 18                 |
|                       | 5000-6800   | 16                 |                       | 2000-3000   | 20                 |
|                       | 7000-7500   | 18                 |                       | 3500-4000   | 22                 |
| 3                     | 500-1000  | 12                 | 7                     | 500   | 20                 |
|                       | 1500-2000   | 14                 |                       | 1000  | 22                 |
|                       | 2500-3500   | 16                 |                       | 1500  | 24                 |
|                       | 4000-5000   | 18                 |                       | 2000  | 26                 |
| 4                     | 500   | 14                 | 10                    | 500   | 20                 |
|                       | 1000  | 16                 |                       | 1000  | 22                 |
|                       | 1500-2000   | 18                 |                       | 1500  | 24                 |
|                       | 2500-3500   | 20                 |                       | 2000  | 26-28              |

Число зубьев большего шкива  $z_2 = z_1 u$ ,

где  $u$  – передаточное отношение.

Расчетные делительные диаметры шкивов.

$$d_1 = mz_1, \text{ мм};$$

$$d_2 = mz_2, \text{ мм}.$$

Расчетную длину ремня  $L$  рассчитывают с точностью до 0,1 мм.

$$L = \pi m z_p, \text{ где } z_p \text{ – число зубьев ремня.}$$

Число зубьев и длину зубчатого ремня согласовывают с табл. 11.41.

Таблица 11.41

| Число зубьев<br>ремня $z_p$ | Число зубьев и длина зубчатого ремня |        |        |        |        |        |
|-----------------------------|--------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                             | Длина ремня $L$ при модуле $m$ , мм  |        |        |        |        |        |
|                             | 2                                    | 3      | 4      | 5      | 7      | 10     |
| 32                          | 201                                  | —      | —      | —      | —      | —      |
| 36                          | 226,1                                | 339,1  | —      | —      | —      | —      |
| 40                          | 251,2                                | 376,8  | 502,4  | —      | —      | —      |
| 45                          | 282,6                                | 423,9  | 565,2  | 706,5  | —      | —      |
| 50                          | 314                                  | 471    | 628    | 785    | 989,1  | —      |
| 56                          | 351,7                                | 527,5  | 703,4  | 879,2  | 1099   | 1570   |
| 63                          | 395,6                                | 593,5  | 791,3  | 989,1  | 1230,9 | 1758,4 |
| 71                          | 445,9                                | 668,8  | 891,8  | 1114,7 | 1384,7 | 1978,2 |
| 80                          | 502,4                                | 753,6  | 1004,8 | 1256   | 1560,6 | 2229,4 |
| 90                          | 565,2                                | 847,8  | 1130,4 | 1413   | 1758,4 | 2512   |
| 100                         | 628                                  | 942    | 1256   | 1570   | 1978,2 | 2826   |
| 112                         | 703,4                                | 1055   | 1406,7 | 1758,4 | 2198   | 3140   |
| 125                         | 785                                  | 1177,5 | 1570   | 1962,5 | 2461,8 | —      |
| 140                         | —                                    | 1318,8 | 1758,4 | 2198   | 2747,5 | —      |
| 160                         | —                                    | 1507,2 | 2009,6 | —      | —      | —      |

Скорость ремня  $v = \omega_1 d_1 / (2 \cdot 1000)$ , м/с.

Межосевое расстояние предварительно рассчитывают из условия

$$a \geq (0,5 \div 2,0)(d_2 + d_1).$$

Длину ремня в шагах  $t$  определяют по зависимости

$$L_t = \frac{2a}{t} + \frac{z_1 + z_2}{2} + \left( \frac{z_2 - z_1}{2\pi} \right)^2 \frac{t}{a},$$

$L_t$  округляют до значения по ряду 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160.

Окончательное значение межосевого расстояния  $a$  вычисляют при выбранной длине  $L_t$  ремня

$$a = 0,25t \left[ L_t - 0,5(z_1 + z_2) + \sqrt{(L_t - 0,5(z_1 + z_2))^2 - 8 \cdot \left( \frac{z_2 - z_1}{2\pi} \right)^2} \right].$$

Если требуемое межосевое расстояние  $a$  и выбранная длина  $L_t$  (содержащая целое число шагов) не соответствуют друг другу, то берут ремень большей длины и устанавливают натяжной ролик. Диаметр натяжного ролика  $d_p$  должен быть больше наружного диаметра малого шкива

$$d_p \leq 1,3d_a.$$

Определяют число зубьев ремня, находящихся в зацеплении с малым шкивом,

$$z_0 = \frac{z_1 \alpha_1^\circ}{360^\circ} \geq [z_0],$$

где  $\alpha_1$  – угол обхвата на малом шкиве, градус (обычно принимают  $\alpha_1 \geq 120^\circ$ )

$$\alpha_1^\circ \approx 180^\circ - 57^\circ \frac{d_2 - d_1}{a} \geq [\alpha_1].$$

Рекомендуется  $[z_0] \geq 6$ . При  $z_0 < [z_0]$  увеличивают межосевое расстояние  $a$ .

Для определения прочности ремня принимают допускаемую приведенную удельную окружную силу  $[F_0]$  в зависимости от модуля ремня по табл. 11.42 при спокойной работе,  $u \geq 1$  и  $z_0 \geq 6$ , передаваемой 1 мм ширины ремня.

Таблица 11.42

| m, мм          | Значение $[F_0]$ |    |       |    |    |    |
|----------------|------------------|----|-------|----|----|----|
|                | 2                | 3  | 4     | 5  | 7  | 10 |
| $[F_0]$ , Н/мм | 5                | 10 | 15/25 | 35 | 45 | 60 |

Определяют удельную окружную силу при данных условиях работы.

$$[F_n] = [F_0] C_p C_F - qv^2, \text{ Н/мм},$$



где  $C_p$  – коэффициент динамичности нагрузки и режима работы (табл. 11.43).

Таблица 11.43

| Характер нагрузки | $C_p$ – коэффициент режима работы |                     |                        |                           |
|-------------------|-----------------------------------|---------------------|------------------------|---------------------------|
|                   | Спокойная                         | Умеренные колебания | Значительные колебания | Ударная, резкие колебания |
| $C_p$             | 1                                 | 0,9                 | 0,8                    | 0,7                       |

*Примечание.* При двухсменной работе  $C_p$  уменьшают на 0,1, при трехсменной – на 0,2.

$C_F = 0,85$ ; – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения нагрузки между проволоками троса вследствие технологических особенностей изготовления.

$qv^2$  – центробежная сила, возникающая при прохождении ремнем шкивов; здесь  $q$  – масса 1 м ремня шириной 1 мм, кг/(м·мм) (табл. 11.44).

Таблица 11.44

| m, мм        | Значение q |       |             |       |       |       |
|--------------|------------|-------|-------------|-------|-------|-------|
|              | 2          | 3     | 4           | 5     | 7     | 10    |
| q, кг/(м·мм) | 0,003      | 0,004 | 0,005/0,006 | 0,007 | 0,008 | 0,011 |

Определяют передаваемую ремнем окружную силу по формуле

$$F_t = P/v, \text{ Н.}$$

Из условия тяговой способности вычисляют ширину ремня

$$b \geq \frac{F_t}{[F_n]}, \text{ мм.}$$

Полученную ширину  $b$  зубчатого ремня округляют до значения, приведенного в табл. 11.38.

Для устранения зазоров в зацеплении и правильного набегания ремня на шкивы определяют необходимое значение предварительного натяжения от центробежной силы

$$F_{np} = 1,2 bqv^2, \text{ Н.}$$

Определяют силу  $F_u$ , действующую на валы и направленную по линии центров передачи,

$$F_u = (1,0 \div 1,2) F_t, \text{ Н, где } F_t = 2M_1/d_1.$$

### Пример

Зубчатременная передача для передачи мощности  $P_1 = 5,0$  кВт при  $\omega = 300$  рад/с ( $2865$  мин<sup>-1</sup>) и  $u = 3$ . Нагрузка близкая к постоянной. Работа двухсменная.

#### Вычисление

Модуль и шаг ремня. Принимаем  $m = 4$  мм, шаг  $p = m\pi = \pi 4 = 12,56$  мм.

Число зубьев  $z_1$  и  $z_2$ . По табл. 11.40  $z_{1\min} > 15$

$$z_2 = z_1 u = 15 \cdot 3 = 45.$$

Делительные диаметры шкивов:

$$\text{ведущего } d_1 = mz_1 = 4 \cdot 15 = 60 \text{ мм;}$$

$$\text{ведомого } d_2 = mz_2 = 4 \cdot 45 = 180 \text{ мм.}$$

Наружные диаметры шкивов:

$$\text{ведущего } d_{a1} = d_1 - 2t + c = 60 - 2 \cdot 0,6 + 0,8 = 59,6 \text{ мм;}$$

$$\text{ведомого } d_{a2} = d_2 - 2t + c = 180 - 2 \cdot 0,6 + 0,83 = 179,6 \text{ мм.}$$

$$T = 0,6 \text{ мм, } c = 0,08 \dots 0,18 \text{ мм, } d_a = 50 \dots 500 \text{ мм.}$$

Скорость ремня  $v = \omega_1 d_1 / (2 \cdot 1000)$ , м/с =  $300 \cdot 60 / (2 \cdot 1000) = 9$  м/с.

Межосевое расстояние  $a \geq 0,5 (d_1 + d_2) = 0,5 (60 + 180) = 120$  мм.

Длину ремня в шагах  $t$  определяют по зависимости

$$L_t = \frac{2a}{t} + \frac{z_1 + z_2}{2} + \left( \frac{z_2 - z_1}{2\pi} \right)^2 \frac{t}{a} = \frac{2 \cdot 120}{12,56} + \frac{60}{2} + \left( \frac{30}{2\pi} \right)^2 \frac{12,56}{120} = 51,48;$$

Округляем до стандартного количества  $L_t = 63$ .

Окончательное значение межосевого расстояния  $a$  вычисляют при выбранной длине  $L_t$  ремня

$$a = 0,25t[L_t - 0,5(z_1 + z_2) + \sqrt{(L_t - 0,5(z_1 + z_2))^2 - 8\left(\frac{z_2 - z_1}{2\pi}\right)^2}]$$

$$= 0,25 \cdot 12,56 \left[ 63 - 30 + \sqrt{63 - (63 - 30)^2 - 8(30/2\pi)^2} \right]_{\text{мм}} = 198 \text{ мм}$$

Угол обхвата на малом шкиве, градус

$$\alpha_1^\circ \approx 180 - 57 \frac{d_2 - d_1}{a} \geq [\alpha_1] = 180 - 34,54 = 145,45^\circ.$$

Число зубьев ремня, находящихся в зацеплении с малым шкивом,

$$z_0 = z_1 \alpha_1 / 360^\circ = 15 \cdot 145,45^\circ / 360 = 6,06 \geq [z_0] = 6.$$

Вычисляем передаваемую окружную силу

$$F_t = P/v = 5 \cdot 1000 / 9 = 555,5 \text{ Н.}$$

Из условия тяговой способности вычисляем ширину ремня

$$b > F_t / [F_n] \text{ при } C_p = 0,9; C_F = 0,85; q = 0,006 \text{ кг/м} \cdot \text{мм.}$$

Определяем удельную окружную силу при данных условиях работы

$$[F_n] = [F_0] C_p C_F - qv^2 = (25 \cdot 0,9 \cdot 0,85 - 0,006 \cdot 9,6^2) = 18,5 \text{ Н/мм.}$$

Следовательно  $b > F_t / [F_n] = 555,5 / 18,5 \text{ мм} = 28,3$ , принимаем  $b = 32 \text{ мм}$ .

Ширина шкива

$$B = b + m = 32 + 4 = 36 \text{ мм.}$$

Значение предварительного натяжения от центробежной силы

$$F_{np} = 1,2 bqv^2 = 1,2 \cdot 32 \cdot 0,006 \cdot 9,6^2 \text{ Н.} = 20 \text{ Н.}$$

Определяем силу  $F_u$ , действующую на валы и направленную по линии центров передачи,

$$F_u = 1,1 F_t = 1,1 \cdot 555,5 \text{ Н} = 611 \text{ Н.}$$

## 11.4. ПЕРЕДАЧИ ЦЕПНЫЕ

### 11.4.1. ПЕРЕДАЧИ С РОЛИКОВОЙ ЦЕПЬЮ

Цепная передача служит для изменения частоты вращения при передаче движения от ведущего вала к ведомому, расположенным на значительном расстоянии друг от друга. В отличие от зубчатой передачи зацепление между зубчатыми колесами, называемыми ведущей  $z_1$  и ведомой  $z_2$  звездочками, осуществляется не непосредственно, а через гибкую связь – приводную цепь (рис. 11.21).

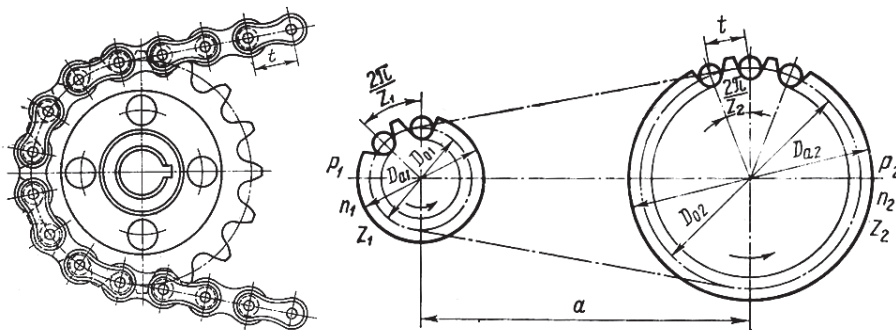


Рис 11.21. Цепная передача

В цепной передаче основным элементом, определяющим ее нагрузочную способность, является цепь, которая состоит из промежуточных звеньев с шагом  $t$ . Поэтому при определении конструкции цепной передачи сначала производят выбор цепи, затем определяют конструкцию звездочек и других частей передачи.

В современном машиностроении из разных типов приводных цепей широко применяются роликовые, втулочные и зубчатые цепи.

**Приводные роликовые цепи** (рис. 11.21, а) состоят из чередующихся наружных и внутренних звеньев, имеющих относительную подвижность в одной плоскости. Пластины 5 внутренних звеньев напрессованы на концы втулок 3, а наруж-

ные пластины 1 – на валик 2, концы которой расклепаны. Длина валика 2 определяет размер ширины цепи. Для уменьшения износа на втулки 3 надеты ролики 4, которые вместе образуют шарнир.

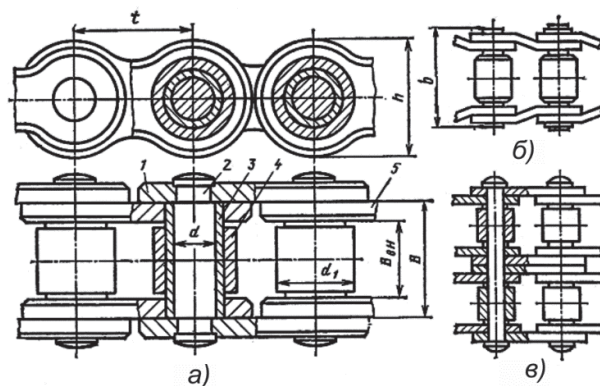


Рис. 11.22. Приводные роликовые цепи

Роликовые цепи выполняют с изогнутыми и прямыми пластинами (рис. 11.22, б и в). Последние обладают повышенной податливостью, их применяют при динамических нагрузках (ударах, частых реверсах и т. д.).

Соединяются цепи непосредственно или соединительным звеном.

При передаче больших мощностей применяют двух- и четырехрядные роликовые цепи; их изготовляют из элементов обычных однорядных цепей, но со специальными более длинными осями. На рис. 11.21, в показана двухрядная роликовая цепь. Применение многорядных цепей позволяет значительно уменьшить габаритные размеры передачи в плоскости, перпендикулярной к осям.

Основными параметрами цепи, так же как в зубчатой передаче, является шаг  $t$  – расстояние между осями двух ближайших роликов 4; разгружающая нагрузка цепи –  $F$  и окружная скорость  $v$ .

В международной практике значения шага  $t$  цепи приняты кратными дюйму  $5/16''$ ;  $3/8''$ ;  $1/2''$ ;  $5/8''$ ;  $3/4''$ ;  $1''$  и т. д., которые получили в ГОСТ 13568-97 следующие значения шага  $t$  в мм: 8; 9,525; 12,7; 15,875; 19,05; 25,4; 31,75; 38,1; 44,45; 50,8; 63,5; 76,2; 78,1; 103,2; 140,0.

**Втулочные цепи** изготовляют с шагом  $t = 9,525$  мм. Конструктивно они отличаются тем, что у них отсутствует ролик (поз. 4 на рис. 11.22). Поэтому у них меньше масса, но вместе с тем возрастает интенсивность износа цепи и звездочек. Рабочая окружная скорость –  $v \leq 10$  м/с.

Втулочно-роликовые цепи изготовляют следующих типов:

ПРЛ – однорядные легкой серии с диапазоном шагов  $t = 15,875 \div 50,8$  мм;

ПР – однорядные нормальной серии с диапазоном шагов  $t = 8,0 \div 63,5$  мм;

2ПР – двухрядные нормальной серии с диапазоном шагов  $t = 12,7 \div 50,8$  мм;

3ПР – трехрядные нормальной серии с диапазоном шагов  $t = 12,7 \div 50,8$  мм;

4ПР – четырехрядные нормальной серии с диапазоном шагов  $t = 19,5$  мм;

ПРД – однорядные длиннорядные с диапазоном шагов  $t = 31,75 \div 76,2$  мм;

ПРИ – однорядные с изогнутыми звеньями с диапазоном шагов  $t = 78,1 \div 140$  мм.

Основные технические параметры роликовых цепей приведены в табл. 11.45.

Многорядные цепи отличаются от однорядных цепей размером по ширине, зависящим от количества венцов звездочек.

Во всех случаях при выборе цепи предпочтительней применение однорядной цепи. Если предварительно выбранная приводная цепь не удовлетворяет передаваемой мощности, можно выбрать однорядную цепь большего шага, избегая применения двухрядных или тем более трехрядных цепей. При оценке вариантов следует учитывать, что при передаче одинаковой мощности с переходом к многорядной цепи уменьшается шаг и увеличивается плавность работы цепной передачи.

Таблица 11.45

| Основные технические параметры однорядных роликовых цепей |       |          |       |       |      |     |          |            |                            |
|---|-------|----------|-------|-------|------|-----|----------|------------|----------------------------|
| Шаг $t$   | $B$   | $B_{вн}$ | $d$   | $d_1$ | $h$  | $b$ | $Q$ , кН | $q$ , кг/м | $A_{оп}$ , мм <sup>2</sup> |
| 8,0   |       | 3,0      | 2,31  | 5,0   | 7,5  | 12  | 4,5      | 0,4        | 15                         |
| 9,525   |       | 5,72     | 3,28  | 6,35  | 8,5  | 17  | 9,1      | 0,45       | 28,1                       |
| 12,7  | 11,3  | 7,75     | 4,45  | 8,51  | 11,8 | 21  | 18,2     | 0,75       | 39,6                       |
| 15,875  | 10,78 | 9,65     | 5,08  | 10,16 | 14,8 | 24  | 22,7     | 1,0        | 54,8                       |
| 19,05   | 17,75 | 12,7     | 5,96  | 11,91 | 18,2 | 33  | 31,8     | 1,9        | 105,8                      |
| 25,4  | 22,8  | 15,88    | 7,95  | 15,88 | 24,2 | 39  | 60,0     | 2,6        | 179,7                      |
| 31,75   | 27,5  | 19,05    | 9,55  | 19,05 | 30,2 | 46  | 88,5     | 3,8        | 262                        |
| 38,1  | 35,5  | 25,4     | 11,12 | 22,23 | 36,2 | 58  | 127,0    | 5,5        | 394                        |
| 44,45   | 37,19 | 25,4     | 12,72 | 25,4  | 42,4 | 62  | 172,4    | 7,5        | 473                        |
| 50,8  | 45,2  | 31,75    | 14,29 | 28,58 | 48,3 | 72  | 226,8    | 9,7        | 646                        |
| 63,5  |       | 38,1     | 19,84 | 39,68 | 60,4 | 89  | 353,8    | 16,0       | 1008                       |

*Примечание.*  $Q$  – разрушающая нагрузка,  $q$  – масса 1 м цепи.  
 Для цепей ПР проекция опорной поверхности ролика  $A_{оп} = 0,28t^2$ ;  
 кроме цепи с  $t=15,875 - A_{оп} = 0,22t^2$ ;  $t=9,525$  и  $t=12,7 - A_{оп} = 0,31t^2$ .

Предпочтительно применять цепи, имеющие четное число звеньев, так как при нечетном их числе приходится вводить специальное переходное звено.

Материал деталей цепей должен обладать большой износоустойчивостью и прочностью. Пластины изготавливают из Стали 50 с закалкой до 38...45 HRC; оси, втулки, ролики – из цементированных сталей (Сталь 20,20X) с последующей закалкой до твердости 52...60 HRC, шайбы из Стали 50 с последующей закалкой до твердости 30...38 HRC.

Цепные передачи выполняют понижающими и повышающими. Цепные передачи применяют обычно для передачи мощностей до 100 кВт при окружных скоростях  $v = 12...15$  м/с и передаточных отношениях до 8. КПД цепных передач 0,92 – 0,98.

При проектировании цепных передач необходимо избегать больших углов ( $>45^\circ$ ) между линией, соединяющей центры звездочек, и горизонтальной линией. Ведущую ветвь располагают, как правило, сверху. В передачах с большими углами подъема необходимо предусматривать натяжные устройства. Вертикального расположения передач следует избегать.

**11.4.1.1. Геометрический расчет цепной передачи**

Звездочки приводных цепей по конструкции во многом подобны зубчатым колесам. Основные зависимости для определения параметров цепной передачи приведены в табл. 11.46.

Главный параметр цепи – ее шаг  $t$ ; остальные геометрические параметры передачи выражают в зависимости от шага.

Делительная окружность звездочки проходит через центры шарниров цепи. Диаметр этой окружности (рис. 11.23, а) для звездочки определяется равенством

$$D_{o1} = \frac{t}{\sin \frac{180}{z_1}}$$

Профиль зуба состоит из впадины (рис. 11.23, б), очерчиваемой радиусом  $r=0,5d_1+0,5$  мм, где  $d_1$  – диаметр ролика (табл. 11.45); дуги, очерчиваемой радиусом  $R=0,8d_1 + r$ ; прямолинейного переходного участка; головки, очерченной радиусом  $R_1$ , который выбирают так, чтобы ролик непосредственно плавно входил в соприкосновение с зубом звездочки.

Ширина венца звездочки  $b = 0,93B_{вн} - 0,15$  мм. Радиус головки зуба в поперечном сечении  $R_2 \approx 1,7d_1$  на высоте  $h=0,8d_1$  (рис. 11.23, б).

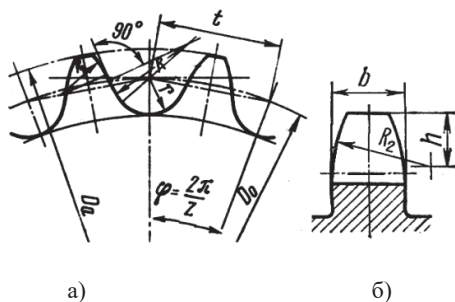


Рис. 11.23. Геометрические параметры зубьев звездочки

Таблица 11.46

**Основные геометрические параметры звездочек (мм)**

| Параметр                            | Обозначение | Ведущей звездочки                                      | Ведомой звездочки                    |
|-------------------------------------|-------------|--|--------------------------------------|
| Шаг цепи                            | $t$         | Значения определяются по параметрам цепи               |                                      |
| Диаметр ролика                      | $d_1$       | Значения определяются по параметрам цепи               |                                      |
| Число зубьев                        | $z$         | $z_1 = 31 - 2u > 16$                                   | $z_2 < 120$                          |
| Делительный диаметр                 | $D_o$       | $D_{o1} = t / \sin(180^\circ / z_1)$                   | $D_{o2} = t / \sin(180^\circ / z_2)$ |
| Диаметр окружности выступов         | $D_a$       | $D_{a1} = D_{o1} + Kd_1$                               | $D_{a2} = D_{o2} + Kd_1$             |
| Диаметр окружности впадин           | $D_{вн}$    | $D_{вн1} = D_{o1} - d_1$                               | $D_{вн2} = D_{o2} - d_1$             |
| Передаточное отношение              | $u$         | $u = z_2 / z_1 = \omega_1 / \omega_2$                  |                                      |
| Минимальное межцентровое расстояние | $a_{мин}$   | $a_{мин} = 1,2(D_{a1} + D_{a2}) / 2 + (30 \div 50)$ мм |                                      |
| Средняя скорость цепи               | $v$         | $v = z_1 t n_1 / 60 \cdot 10^3$ об/мин                 |                                      |
| Ширина зуба звездочки               | $b$         | $b = 0,93B_{вн} - 0,15$ ;                              |                                      |

*Примечание.*  $K = 0,9$  при  $z > 16$ ;  $K = 0,7$  при  $z \leq 16$ .

Для уменьшения массы и габаритных размеров цепных передач при проектировании число зубьев меньшей звездочки принимают из условия  $z_{мин} > 13$ . Минимальное число зубьев меньшей звездочки для роликовых цепей выбирают по эмпирической зависимости

$$z_{1 мин} = 29 - 2u.$$

При  $v = 1$  м/с цепи допустимое значение  $z_1 \geq 11$ .

При  $v < 2$  м/с это число может быть увеличено до  $z_{мин} \geq 13...15$ , при  $v > 2$  м/с  $z_{мин} \geq 19$ , а в приводах с ударными нагрузками следует принимать  $z_{мин} \geq 23$ .

Предварительное значение числа зубьев  $z_1$  меньшей звездочки принимают как окончательное, если угловая скорость  $\omega_1$  не превышает максимально допустимую скорость  $\omega_{max}$  меньшей звездочки (табл. 11.47).

При определении значения числа зубьев  $z_1$  необходимо учесть передаточное отношение цепной передачи. Рекомендуемая зависимость этих параметров приведена в табл. 11.47.

Таблице 11.47

| Рекомендуемые значения $z_{min}$ в зависимости от $u$ |         |         |         |         |         |         |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| $u$   | 1...2   | 2...3   | 3...4   | 4...5   | 5...6   | 6       |
| $z_{min}$   | 30...27 | 27...25 | 25...23 | 23...21 | 21...17 | 17...15 |

Расчетное число зубьев большей звездочки  $z_2$  назначают в зависимости от передаточного отношения  $u = \omega_1 / \omega_2 = z_2 / z_1$ .

В цепных передачах передаточное отношение  $u$  не может определяться через делительные окружности звездочек, т.е.  $u \neq D_{o2} / D_{o1}$ .

Передаточное отношение цепной передачи обычно  $u \leq 5$ , реже  $u \leq 8$ , и лишь для очень тихоходных передач встречаются более высокие значения.

Число зубьев ведомой звездочки  $z_2 = z_1 u$ , но оно не должно превышать предельного значения  $z_{2max} \leq 100 \div 120$ . Это ограничение связано с тем, что в результате вытяжки увеличивается шаг цепи  $t$  и она не может занимать нормального положения во впадинах зубьев звездочек, т.е. цепь будет соскакивать или разорвется.

Расчетное число зубьев  $z_2$  следует округлять до ближайшего нечетного числа.

При нечетных числах зубьев  $z_1$  и  $z_2$  и четном числе звеньев цепи изнашивание звездочек и шарниров будет протекать более равномерно.

Рекомендуют принимать нечетные числа зубьев звездочек, тогда, в сочетании с четным числом звеньев цепи, будет более равномерный износ цепи.

Для определения делительных диаметров звездочек приведены исходные данные  $D_0^*$  при  $t = 1$  мм в табл. 11.48.

Таблица 11.48

Значения делительных диаметров звездочек  $D_0^*$  при  $t = 1$  мм  
(для роликовых и зубчатых цепей)

| Число зубьев $z$ | $D_0^*$ | Число зубьев $z$ | $D_0^*$ | Число зубьев $z$ | $D_0^*$ | Число зубьев $z$ | $D_0^*$ | Число зубьев $z$ | $D_0^*$ |
|------------------|---------|------------------|---------|------------------|---------|------------------|---------|------------------|---------|
| 7                | 2,305   | 26               | 8,296   | 45               | 14,336  | 64               | 20,380  | 83               | 26,426  |
| 8                | 2,613   | 27               | 8,614   | 46               | 14,654  | 65               | 20,698  | 84               | 26,744  |
| 9                | 2,924   | 28               | 8,931   | 47               | 14,972  | 66               | 21,016  | 85               | 27,063  |
| 10               | 3,236   | 29               | 9,249   | 48               | 15,290  | 67               | 21,335  | 86               | 27,381  |
| 11               | 3,549   | 30               | 9,567   | 49               | 15,608  | 68               | 21,653  | 87               | 27,699  |
| 12               | 3,864   | 31               | 9,885   | 50               | 15,926  | 69               | 21,971  | 88               | 28,017  |
| 13               | 4,179   | 32               | 10,202  | 51               | 16,244  | 70               | 22,289  | 89               | 28,336  |
| 14               | 4,494   | 33               | 10,520  | 52               | 16,562  | 71               | 22,607  | 90               | 28,654  |
| 15               | 4,810   | 34               | 10,838  | 53               | 16,880  | 72               | 22,926  | 91               | 28,972  |
| 16               | 5,126   | 35               | 11,156  | 54               | 17,198  | 73               | 23,244  | 92               | 29,290  |
| 17               | 5,442   | 36               | 11,474  | 55               | 17,517  | 74               | 23,562  | 93               | 29,609  |
| 18               | 5,759   | 37               | 11,792  | 56               | 17,835  | 75               | 23,880  | 94               | 29,927  |
| 19               | 6,076   | 38               | 12,110  | 57               | 18,153  | 76               | 24,198  | 95               | 30,245  |
| 20               | 6,393   | 39               | 12,428  | 58               | 18,471  | 77               | 24,517  | 96               | 30,563  |
| 21               | 6,710   | 40               | 12,746  | 59               | 18,789  | 78               | 24,835  | 97               | 30,882  |
| 22               | 7,027   | 41               | 13,064  | 60               | 19,107  | 79               | 25,153  | 98               | 31,200  |
| 23               | 7,344   | 42               | 13,382  | 61               | 19,425  | 80               | 25,471  | 99               | 31,518  |
| 24               | 7,661   | 43               | 13,700  | 62               | 19,744  | 81               | 25,790  | 100              | 31,836  |
| 25               | 7,979   | 44               | 14,018  | 63               | 20,062  | 82               | 26,108  |                  |         |

**Примечание.** Определение делительных диаметров звездочек  $D_0 = D_0^* t$  с округлением полученного значения до 0,01 мм.  
Пример:  $z_2 = 40$ ;  $t = 50$  мм;  $D_0^* = 12,746$ ; получаем  $D_0 = 12,746 \times 50 = 637,30$  мм.

В момент укладки звенья цепи испытывают динамические нагрузки и удары, которые увеличивают интенсивность изнашивания шарниров. Удары, неравномерность вращения ведомой звездочки и колебания ветвей возрастают с увеличением шага цепи и скорости вращения ведущей звездочки, а также с уменьшением числа зубьев этой же звездочки. Увеличение шага особенно отрицательно сказывается в быстроходных приводах. Поэтому на основе теоретических рекомендаций и опытных данных разработаны таблицы (например, табл. 11.50), устанавливающие предельные  $\omega_{max}$  скорости меньших ведущих звездочек для различных значений шага  $t$  цепей. Максимальное значение шага цепи ограничиваются окружной скоростью малой звездочки по условию  $n_1 \leq n_{1max}$

$$n_{max} = 14 \cdot \frac{\sqrt[4]{z_1}}{t} \cdot 10^3, \text{ мин}^{-1}.$$

Для этого проверяют число ударов цепи. Расчетное число ударов цепи при набегании на зубья звездочек и сбегании с них

$$v = \frac{4z_1 n_1}{60L_t},$$

где  $L_t$  – число звеньев цепи.

Допускаемые значения числа ударов цепи  $v$  приведены в табл. 11.49.

Допускаемые значения числа ударов цепи

|                   |      |        |       |      |       |      |       |      |
|-------------------|------|--------|-------|------|-------|------|-------|------|
| Шаг цепи $t$ , мм | 12,7 | 15,875 | 19,05 | 25,4 | 31,75 | 38,1 | 44,45 | 50,8 |
| Число ударов в с  | 40   | 30     | 25    | 20   | 16    | 14   | 12    | 10   |

Наибольшие допустимые значения  $[n_1]$  ( $\text{мин}^{-1}$ ) малой звездочки

| Число зубьев $z_1$ | Шаг $t$ , мм                  |        |       |      |       |      |       |      |
|--------------------|-------------------------------|--------|-------|------|-------|------|-------|------|
|                    | 12,7                          | 15,875 | 19,05 | 25,4 | 31,75 | 38,1 | 44,45 | 50,8 |
|                    | $[n_1]$ ( $\text{мин}^{-1}$ ) |        |       |      |       |      |       |      |
| 15                 | 1250                          | 1000   | 900   | 800  | 630   | 500  | 400   | 300  |
| 19                 | 1300                          | 1040   | 940   | 840  | 650   | 520  | 420   | 310  |
| 23                 | 1350                          | 1080   | 980   | 880  | 680   | 540  | 430   | 320  |
| $\geq 25$          | 1400                          | 1100   | 1000  | 900  | 700   | 550  | 430   | 330  |

Так как звенья цепи на звездочках имеют переменную скорость, то в качестве расчетной принимают среднюю скорость цепи, м/с

$$v_{cp} = \frac{tz_1\omega_1}{2\pi 10^3} = \frac{tz_2\omega_2}{2\pi 10^3} = \frac{z_1tn_1}{60 \cdot 10^3},$$

где  $t$  – шаг цепи, мм;  $z_1$  и  $z_2$  – числа зубьев ведущей и ведомой звездочек;  $\omega_1$  и  $\omega_2$  – угловые скорости ведущей и ведомой звездочек, рад/с,  $n_1$  – в  $\text{мин}^{-1}$  в табл. 11.50.

Межосевое расстояние цепной передачи предварительно принимают в пределах  $a = (30 \dots 50)t$ . Рекомендуют меньшее значение  $a$  для  $u=1 \dots 2$ , большее – при  $u=6 \dots 7$ .

Минимальное межосевое расстояние  $a$  ограничивается условием обеспечения угла обхвата меньшей звездочки  $\alpha_1 \geq 120^\circ$ .

$$a_{\min} \geq 1,2(D_{a1} + D_{a2})/2 + (30 \div 50) \text{ мм.}$$

Соблюдение этого условия способствует повышению износостойкости элементов передачи.

Одновременно ограничивают и максимальное межосевое расстояние –  $a_{\max} \leq 80t$ , что позволяет исключить чрезмерное натяжение цепи под действием собственной силы тяжести.

Делительный диаметр звездочки

$$D_{o1} = t / \sin(180^\circ/z),$$

где  $z$  – число зубьев звездочки.

$$D_e = t(K_z + 0,7) - 0,31d_1,$$

где  $K_z = \text{ctg}(180^\circ/z)$ ,  $d_1$  – диаметр ролика цепи,  $D_{e1}$  и  $D_{e2}$  – наружные диаметры звездочек.

Длину цепи определяют по зависимости в шагах  $t$

$$L_t = \frac{2a}{t} + \frac{z_1 + z_2}{2} + \left( \frac{z_2 - z_1}{2\pi} \right)^2 \frac{t}{a},$$

где  $L_t$  – длина цепи в шагах, или число звеньев цепи, округленное до целого четного числа, после чего уточняют межосевое расстояние.

Расчетное значение межосевого расстояния передачи вычисляют по формуле:

$$a = 0,25t(L_t - 0,5(z_1 + z_2)) + \sqrt{(L_t - 0,5(z_1 + z_2))^2 - 8 \left( \frac{z_2 - z_1}{2\pi} \right)^2}.$$

Для передачи с нерегулируемым межосевым расстоянием и при наклоне линии центров к горизонту под углом  $\gamma = 50 \dots 70^\circ$  ведомая ветвь должна иметь (стрелу прогиба) небольшое провисание  $f$ , для чего полученное расчетное значение межосевого расстояния  $a$  уменьшают на 0,2...0,4 %.

При наклоне линии центров к горизонту под углом  $\gamma = 70 \dots 90^\circ$  поправку в полученное расчетное значение межосевого расстояния  $a$  не вносят.

**Силы в ветвях цепи.** Окружная сила,  $F_t, H$ , передаваемая цепью,

$$F_t = P/v = 2M/D_o,$$

где  $P$  – передаваемая мощность, Вт;  $v$  – скорость цепи, м/с;  $M$  – передаваемый момент, Н·мм;  $D_o$  – диаметр делительной окружности, мм.



Натяжение цепи от центробежных сил

$$F_u = qv^2.$$

При работе цепной передачи более нагруженной является ведущая ветвь, полное натяжение которой

$$F_n = F_t + F_u + F_f.$$

**Нагрузка на валы звездочек.** В цепных передачах натяжения от воздействия центробежных сил на валы не передаются. Поэтому валы нагружаются только окружной силой  $F_t$  и натяжением от провисания цепи  $2F_f$ .

Цепь действует на валы звездочек с силой

$$F_r = K_B F_t + 2F_f,$$

где  $K_B$  – коэффициент нагрузки вала, учитывающий влияние провисания цепи;

$K_B \approx 1,05 \div 15$  (меньшее значение принимают для вертикальных передач, большее – для горизонтальных).

**Регулировка натяжения цепи.** В процессе работы происходит износ в шарнирах цепи и цепь удлиняется. Регулировка натяжения цепи выполняется для компенсации износа шарниров, снижения вибраций и износа цепи.

Степень натяжения цепи характеризуется стрелой провисания  $f$  ее ведомой ветви (рис. 11.24, а). Предварительное натяжение цепи от провисания  $f$  ведомой ветви

$$F_f = 10qK_f a,$$

где  $q$  – масса 1 м цепи, кг;  $a$  – межосевое расстояние, м;

$K_f$  – коэффициент провисания (табл. 11.51).

Таблица 11.51

$K_f$  – коэффициент провисания

| Угол наклона линии центров | $\gamma$        | $K_f$ |
|----------------------------|-----------------|-------|
| Для горизонтальных передач | $0^\circ$       | 6     |
| Для наклонных передач      | $\leq 40^\circ$ | 3     |
| Для вертикальных передач   | $90^\circ$      | 1     |

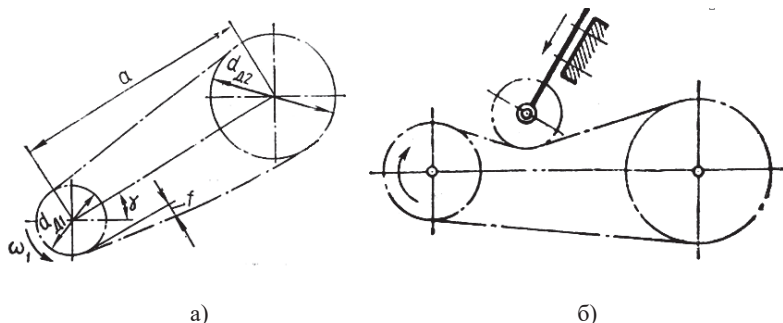


Рис 11.24. Схемы:

а – провисание цепи –  $f$ ; б – установки натяжных устройств

Для передач с углом наклона к горизонту  $\gamma = 40^\circ$  допускаемая стрела провисания  $[f] \leq 0,02a$ , при  $\gamma > 40^\circ$  –  $[f] \leq 0,015a$ , где  $a$  – межосевое расстояние.

Для компенсации удлинения цепи опоры одного из валов выполняют подвижными. Если это сделать невозможно, то применяют натяжные устройства (рис. 11.24, б). Натяжные устройства рекомендуется ставить на ведомую ветвь цепи. В качестве натяжных устройств могут применяться системы периодического, полуавтоматического и автоматического действия.

Звездочка натяжного устройства должна входить в зацепление не менее чем с тремя звеньями цепи. Диаметр натяжной звездочки рекомендуется принимать равным или несколько большим диаметра ведущей звездочки. При регулировке с помощью нажимных звездочек (натяжных и отжимных) их устанавливают вблизи ведомых звездочек передач. Число зубьев нажимной звездочки должно быть таким, чтобы ее число оборотов не превышало допустимого для цепных передач данного типа.

Применяются также нажимные ролики с ребордами и без реборд. Диаметр регулирующего ролика должен быть не менее 0,6–0,7 диаметра меньшей звездочки передачи и иметь ширину на 5–8 мм больше, чем цепь.

При угле наклона цепи к горизонту  $\gamma \geq 60^\circ$  и при  $t \geq 3$  вместо натяжных звездочек допускается применять ролики.

#### 14.4.1.2. Расчет на прочность цепной передачи с приводными роликовыми цепями

Основным критерием работоспособности приводных цепей является износостойкость их шарниров. Нагрузочная способность цепи прямо пропорциональна давлению в шарнирах, а долговечность – обратно пропорциональна. Поэтому в основу расчета цепных передач положено условие, по которому можно вести проверочный расчет передачи.

$$p = \frac{K_3 F_t}{mA_{\text{оп}}} \leq [p], \quad (3)$$

где  $p$  – расчетное среднее давление в шарнире:  $F_t = 2T/D$  – передаваемое окружное усилие;

$T$  – вращающий момент;  $D$  – диаметр делительной окружности звездочки (если задана мощность  $P$  передачи, то  $F_t = P/v$ , где  $v$  – скорость цепи);  $A_{\text{оп}} = dB$  – площадь проекции опорной поверхности шарнира;  $d$  – диаметр валика;  $B$  – длина втулки (рис. 11.22).

Для роликовых цепей  $A_{\text{оп}} \approx (0,25 \div 0,28)t^2$ , кроме цепи с  $t=15,875$  –  $A_{\text{оп}} = 0,22t^2$ ;  $t=9,525$  и  $t=12,7$  –  $A_{\text{оп}} = 0,31t^2$  (табл. 11.45);  $[p]$  – допускаемое среднее давление в шарнирах, установленное для типовой передачи, работающей в средних условиях эксплуатации, при постоянной нагрузке и долговечности 3000...5000 часов;  $K$  – коэффициент эксплуатации, учитывающий конкретные особенности рассчитываемой передачи;  $m$  – число рядов цепи. Значения допускаемого среднего давления  $[p]$  в шарнире в зависимости от частоты вращения  $n_1$  малой звездочки и шага цепи  $t$  приведены в табл. 11.52.

$K_3$  – коэффициент, учитывающий условия монтажа и эксплуатации цепной передачи; он равен произведению шести коэффициентов

$$K_3 = K_d K_a K_n K_p K_{cm} K_n,$$

где  $K_d$  – динамический коэффициент: при спокойной нагрузке  $K_d = 1$ , при ударной нагрузке его принимают в зависимости от интенсивности ударов от 1,25 до 2,5;

$K_a$  – учитывает влияние межосевого расстояния: при  $a = (30 \dots 50)$  t принимают  $K_a = 1$ ; при  $a \geq 50$  t снижают  $K_a$  на 0,1 на каждые 20 t; при  $a \leq 25$  t принимают  $K_a \leq 1,25$ ;

$K_n$  – учитывает влияние наклона цепи: при наклоне  $\leq 60^\circ$   $K_n = 1$ ; при наклоне  $\geq 60^\circ$   $K_n = 1,25$ , но при автоматическом регулировании натяжения цепи принимают  $K_n = 1$  при любом наклоне;

$K_p$  – принимают в зависимости от способа регулирования натяжения цепи: при автоматическом регулировании  $K_p = 1$ , при периодическом  $K_p = 1,25$ ;

$K_{cm}$  – принимают в зависимости от способа смазывания цепи: при картерной смазке  $K_{cm} = 0,8$ ; при непрерывной смазке  $K_{cm} = 1$ ; при периодической  $K_{cm} = 1,3 \div 1,5$ ;

$K_n$  – учитывает периодичность работы передачи:  $K_n = 1$  при работе в одну смену, при двухсменной  $K_n = 1,25$ ; при трехсменной  $K_n = 1,5$ .

Передаваемое окружное усилие можно выразить

$$F_t = \frac{2T}{D} = \frac{2T}{z_1 t}.$$

После преобразований формула (3) примет вид

$$p = \frac{K_3 F_t}{mA_{\text{оп}}} = \frac{2TK_3 \pi}{z_1 t m \cdot 0,28t^2} = \frac{22,4TK_3}{z_1 m t^3} \leq [p] \quad (4)$$

Главный параметр передачи – шаг цепи, мм, определяют из условия

$$t \geq 2,8 \cdot \sqrt[3]{\frac{T_1 K_3}{z_1 [p] \cdot m}},$$

где  $T_1$  – вращающий момент на валу меньшей ведущей звездочки, Н·мм;  $z_1$  – число зубьев той же звездочки;  $[p]$  – допускаемое давление, приходящееся на единицу проекции опорной поверхности шарнира, МПа (численно равно Н/мм<sup>2</sup>); значения  $[p]$  даны в табл. 11.52;  $m$  – число рядов цепи.

Шаг цепи может также определяться в зависимости от наибольшей допустимой угловой скорости малой звездочки  $\omega_{\text{max}}$ , рад/с или ее частоты вращения  $n_{\text{max}}$ , об/мин (табл. 11.50).

Основной причиной выхода из строя цепных передач является износ шарниров, приводящий к удлинению цепи и неправильному зацеплению ее со звездочками; следовательно, основным критерием работоспособности приводных цепей является износостойкость их шарниров.

Расчет и проектирование цепных передач сводится к подбору такой цепи, которая в заданных условиях работы будет обладать достаточной надежностью и долговечностью.

Для получения необходимой долговечности цепной передачи по критерию износостойкости шарниров давление  $p$ , приходящееся на единицу опорной поверхности шарнира звена  $A_{\text{оп}}$ , мм<sup>2</sup> (табл. 11.52), не должно превышать допустимого значения  $[p]$ .

Допускаемое давление в шарнирах цепи [p], МПа (при  $z_1 = 17$ )

| n <sub>1</sub><br>об/мин   | Шаг цепи, мм                     |        |       |      |       |      |       |      |
|--|----------------------------------|--------|-------|------|-------|------|-------|------|
|  | 12,7                             | 15,875 | 19,05 | 25,4 | 31,75 | 38,1 | 44,45 | 50,8 |
|  | [p], МПа при z <sub>1</sub> = 17 |        |       |      |       |      |       |      |
| До 20  | 52                               | 52     | 52    | 49   | 45,6  | 42,8 | 40,8  | 39   |
| 50   | 46                               | 43     | 39    | 36   | 34    | 31   | 29    | 27   |
| 100  | 37                               | 34     | 31    | 29   | 27    | 25   | 23    | 22   |
| 200  | 29                               | 27     | 25    | 23   | 22    | 19   | 18    | 17   |
| 300  | 26                               | 24     | 22    | 20   | 19    | 17   | 16    | 15   |
| 500  | 22                               | 20     | 18    | 17   | 16    | 14   | 13    | 12   |
| 750  | 19                               | 17     | 16    | 15   | 14    | 13   | 12    | 11   |
| 1000   | 17                               | 16     | 14    | 13   | 13    | 11   | 11    | –    |
| 1250   | 16                               | 15     | 13    | 12   | 11    | 10   | –     | –    |
| 1500   | 14                               | 13     | 12    | 11   | 10    | –    | –     | –    |
| 2000   | 11                               | 10     | 10    | –    | –     | –    | –     | –    |
| <b>Примечания:</b> 1. Если z <sub>i</sub> ≠ 17, то табличные значения [p] умножают на k <sub>z</sub> = 1 + 0,01 (z <sub>i</sub> – 17). |                                  |        |       |      |       |      |       |      |
| при z <sub>1</sub>   | 11                               | 13     | 15    | 19   | 21    | 23   | 25    | 30   |
| k <sub>z</sub>   | 0,94                             | 0,96   | 0,98  | 1,02 | 1,04  | 1,06 | 1,08  | 1,1  |
| 2. Для двухрядных цепей значения [p] уменьшают на 15%.   |                                  |        |       |      |       |      |       |      |

Так как величина [p], зависит от шага цепи (табл. 11.52), то задачу решают методом последовательных приближений: предварительно принимают ориентировочное значение [p] в соответствии с предполагаемым значением  $t$ , затем округляют его до стандартного значения (ближайшего большего) и уточняют значение расчетного  $p$ , определяемого по формуле (4.)

Вычисленное значение  $p$  не должно превышать допускаемого [p]. Если это условие не выполнено, то следует просчитать варианты – с цепью большего шага или с двухрядной цепью. Если расчетное значение  $p$  окажется значительно меньше [p], то следует просчитать варианты с цепями меньшего шага.

Коэффициент запаса прочности передачи  $s$  определяют по зависимости

$$s = \frac{Q10^3}{F_t K_o + F_v + F_f},$$

где  $Q$  – разрушающая нагрузка, Н;  $F_t$  – окружная сила;  $K_o$  – динамический коэффициент,  $F_v = qv^2$  – центробежная сила;  $F_f = 9,81 k_f qa$  – сила от провисания цепи, Н;  $q$  – масса 1 м цепи;  $k_f$  – коэффициент, учитывающий расположение цепи: при горизонтально расположенной цепи  $k_f = 6$ ; при наклонной (под 45°)  $k_f = 1,5$ ; при вертикальной  $k_f = 1$ .

Расчетный коэффициент запаса прочности  $s$  должен удовлетворять условию  $s \geq [s]$ , где [s] – допускаемый коэффициент запаса прочности (табл. 11.53).

Таблица 11.53

Допускаемые коэффициенты запаса прочности [s] приводных роликовых цепей

| n <sub>1</sub><br>об/мин | Шаг цепи, мм |        |       |      |       |      |       |      |
|--------------------------|--------------|--------|-------|------|-------|------|-------|------|
|                          | 12,7         | 15,875 | 19,05 | 25,4 | 31,75 | 38,1 | 44,45 | 50,8 |
| 50                       | 7,1          | 7,2    | 7,2   | 7,3  | 7,4   | 7,5  | 7,6   | 7,6  |
| 100                      | 7,3          | 7,4    | 7,5   | 7,6  | 7,8   | 8,0  | 8,1   | 8,3  |
| 300                      | 7,9          | 8,2    | 8,4   | 8,9  | 9,4   | 9,8  | 10,3  | 10,8 |
| 500                      | 8,5          | 8,9    | 9,4   | 10,2 | 11,0  | 11,8 | 12,5  | –    |
| 750                      | 9,3          | 10,0   | 10,7  | 12,0 | 13,0  | 14,0 | –     | –    |
| 1000                     | 10,0         | 10,8   | 11,7  | 13,3 | 15,0  | –    | –     | –    |
| 1250                     | 10,6         | 11,6   | 12,7  | 14,5 | –     | –    | –     | –    |

### Пример

Цепная передача с роликовой цепью в приводе транспортера. Передаваемая мощность  $P_2 = 10$  кВт при  $n_1 = 360$  мин<sup>-1</sup>;  $i = 3,15$ ; нагрузка переменная.

Расположение центров передачи под углом 45° к горизонту, передача отрытая, работа в помещении в одну смену, регулируется передвижением оси малой звездочки.

### Вычисление

Вращающий момент на валу звездочки

$$T_1 = 9,55 P/n = 9,55 \cdot 10 \cdot 10^3 / 360 = 266 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

Коэффициент  $K_s = K_o K_a K_n K_p K_{cm} K_n$ :

$K_o = 1,25$  (передача характеризуется умеренными ударами);

$K_a = 1$  (так как следует принять  $a = (30-50)t$ );

$K_n = 1$  (так как угол наклона цепи 45°);

$K_p = 1,25$  (регулирование натяжения цепи периодическое);

$K_{cm} = 1,5$  (смазывание цепи периодическое);

$K_n = 1$  (работа в одну смену).

Следовательно,  $K_s = 1,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,25 \cdot 1,5 \cdot 1 = 2,33$ .

Числа зубьев звездочек:

ведущей  $z_1 = 31 - 2u = 31 - 2 \cdot 3,15 = 25$ ;

ведомой  $z_2 = z_1 u = 25 \cdot 360/115 = 79$ .

Среднее значение  $[p]$  принимаем ориентировочно  $[p] = 20$  МПа; число рядов цепи  $m = 1$ .

Определяем шаг цепи

$$t \geq 2,8 \cdot \sqrt[3]{\frac{T_1 K_s}{z_1 [p] m}} = 2,8 \cdot \sqrt[3]{\frac{266 \cdot 10^3 \cdot 2,33}{25 \cdot 20 \cdot 1}} \approx 30 \text{ мм.}$$

Принимаем ближайшее  $t = 31,75$  мм.

По табл. 11.45 для  $t = 31,75$  мм находим:

проекция опорной поверхности шарнира  $A_{on} = 262 \text{ мм}^2$ ;

разрушающая нагрузка  $Q = 88,5 \text{ кН}$ ;  $q = 3,8 \text{ кГ/м}$ .

Проверяем по табл. 11.50 частоту вращения.

Для цепи с шагом  $31,75 \text{ мм}$   $n < [n_1] = 630 \text{ мин}^{-1}$ .

Условие соблюдено.

Проверяем цепь по табл. 11.52 по допускаемому давлению в шарнирах.

Для цепи  $t = 31,75 \text{ мм}$  при  $n = 360 \text{ мин}^{-1}$   $[p] = 18,1 \text{ МПа}$ , а с учетом примечания находим

$[p] = 18,1(1 + 0,01(25 - 17)) \text{ МПа} = 19,6 \text{ МПа}$ .

Расчетное давление

$$p = \frac{F_t K_s}{A_{on}} = \frac{2100 \cdot 2,33}{262} = 18,7 \text{ МПа} < [p] = 19,6 \text{ МПа.}$$

Условие выполнено.

Определяем длину цепи в количестве звеньев в цепи

$$L_t = \frac{2a}{t} + \frac{z_1 + z_2}{2} + \left( \frac{z_2 - z_1}{2\pi} \right)^2 \frac{t}{a} = 2 \cdot 40 + 0,5 \cdot 104 + 8,6^2/40 = 133,8.$$

Округляем до четного числа  $L_t = 134$ .

Определяем уточненное значение межосевого расстояния.

$$a = 0,25t(L_t - 0,5(z_1 + z_2)) + \sqrt{(L_t - 0,5(z_1 + z_2))^2 - 8 \left( \frac{z_2 - z_1}{2\pi} \right)^2}$$

$$= 0,25 \cdot 31,75[134 - 0,5 \cdot 104] + \sqrt{(134 - 0,5 \cdot 104)^2 - 8 \cdot 8,6^2} = 1273 \text{ мм.}$$

Для свободного провисания цепи предусматриваем возможность уменьшения межосевого расстояния на 0,4% ( $1273 \cdot 0,004 \approx 5 \text{ мм}$ ).

Определяем диаметры делительных окружностей звездочек:

ведущей  $D_{o1} = t / \sin(180^\circ / z_1) = 31,75 / \sin(180/25) = 252,2 \text{ мм}$ ;

ведомой  $D_{o2} = t / \sin(180^\circ / z_2) = 31,75 / \sin(180/79) = 800,1 \text{ мм}$ .

Определяем силы, действующие на цепь:

окружная

$$F_t = 2100 \text{ Н};$$

центробежная

$$F_y = \frac{qV^2}{g} = 3,8 \cdot 4,76^2 = 86 \text{ Н}$$

от провисания цепи

$$F_f = 9,81 k_f q a = 9,81 \cdot 1,5 \cdot 3,8 \cdot 1,27 = 71 \text{ Н.}$$

Определяем значение расчетной нагрузки на валы

$$F_r = K_B F_t + 2F_f = 1,1 \cdot 2100 + 2 \cdot 71 = 2452 \text{ Н,}$$

где  $K_B$  – коэффициент нагрузки вала, учитывающий влияние провисания цепи;

$K_B \approx 1,05 \dots 1,15$  (меньшее значение принимают для вертикальных передач, большее – для горизонтальных).

Определяем коэффициент запаса прочности (табл. 11.53).

$$s = \frac{Q10^3}{F_1 K_o + F_v + F_f} = \frac{88,5 \cdot 10^3}{1,25 \cdot 2100 + 86 + 71} \approx 32 \geq [s] = 10,1.$$

Условие выполнено.

### 11.4.1.3. Смазка

При проектировании цепной передачи со скоростью  $v > 2$  м/с целесообразно одновременно предусмотреть конструкцию смазочного устройства.

Если скорость цепной передачи  $2 < v < 4$ , то может применяться капельная смазка (5–15 капель в минуту) с помощью масленок-капельниц. При скоростях цепей  $v > 4$  м/с применяют картерную, струйную или центробежную систему смазки.

При капельной смазке приводных цепей применяют простые кожухи (картеры), которые одновременно служат для предохранения от попадания грязи и обеспечивают безопасность. Когда применяется непрерывный способ смазки, картер следует выполнять маслонепроницаемым. Ширина картера должна быть на 60–80 мм больше габаритной ширины цепи. Картеры для непрерывной смазки изготавливают сварными из стали.

### 11.4.2. ПЕРЕДАЧИ С ЗУБЧАТОЙ ЦЕПЬЮ

Цепная передача с зубчатой цепью конструктивно не отличается от передачи с втулочно-роликовой цепью. Применение зубчатой цепи в цепной передаче позволило передать большую мощность при больших окружных скоростях и с меньшим шумом.

**Зубчатые цепи** (рис. 11.25) состоят из набора пластин двух типов. Основные пластины имеют внешние боковые плоские поверхности, которыми они сопрягаются с двумя зубьями звездочки.

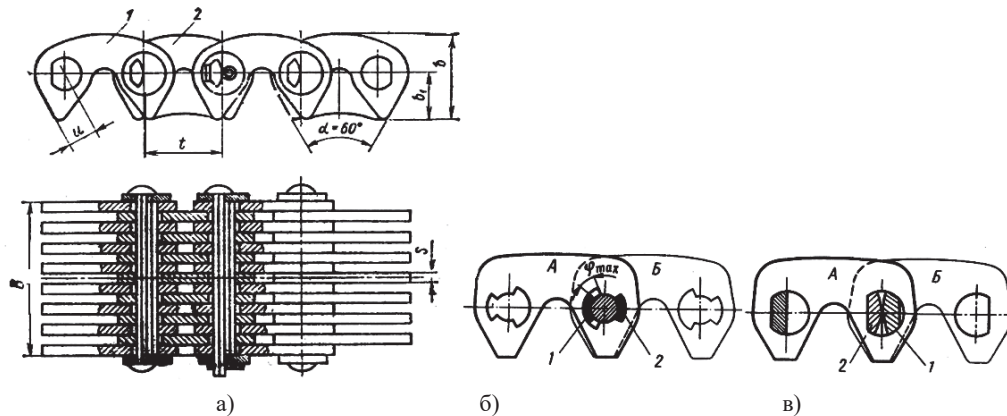


Рис. 11.25. Зубчатые цепи

Рабочими гранями пластин являются торцевые плоскости зубьев, расположенные под углом  $60^\circ$ , которыми каждое звено цепи садится на два зуба звездочки (рис. 11.25, а). Благодаря этой особенности зубчатые цепи обладают минимально возможным шагом и поэтому допускают более высокие рабочие скорости. Направляющие пластины 2 служат для предотвращения бокового смещения цепи относительно звездочки. Для этих пластин по середине зубчатого венца звездочки выполняют канавку. Известны конструкции зубчатых цепей и с боковыми направляющими пластинами.

Пластинчатые зубчатые цепи различают в основном по конструкции шарниров. Совершенствование конструкции шарниров направлено на уменьшение износа и потерь на трение. Применяют шарниры скольжения (рис. 11.25, б) и шарниры качения (рис. 11.25, в).

В шарнирах скольжения вкладыши 1 и 2 соединяют пластины по всей ширине цепи. При этом вкладыш 1 закреплен в пластинах Б, а вкладыш 2 – в пластинах А. Шарнир допускает поворот пластины в одну или в обе стороны на угол  $\varphi_{\max} = 30^\circ$ . Значение угла  $\varphi_{\max}$  ограничивает минимальное число зубьев звездочки по условию  $Z_{\min} = 360^\circ / \varphi_{\max} = 12$ .

Шарниры качения не имеют валика. Их изготавливают с двумя сегментными вкладышами 1 и 2 (рис. 11.25, в). При повороте звеньев вкладыши не скользят, а перекатываются, что позволяет повысить КПД передачи и долговечность цепи.

Особенность применения зубчатых цепей заключается в том, что на базе пластин каждого шага  $t$  создан размерный ряд цепей, отличающихся по ширине  $B$  и несущей способности (табл. 11.55).

Таблица 11.55

Приводные зубчатые цепи с шарнирами качения (выборка)

| Шаг цепи $t$ , мм | Ширина цепи $B$ , мм   | Толщина пластины $S$ | $b$  | $b_1$ | Разрушающая нагрузка (на 1 мм ширины цепи) $Q = F_0/B$ , Н/мм | Масса $q$ , кг/(м·см) 1 м цепи на 1 см ширины |
|-------------------|------------------------|----------------------|------|-------|---|---|
| 12,70             | 22,5÷52,5 (через 6 мм) | 1,5                  | 13,4 | 7     | 1050  | 0,58  |
| 15,875            | 30÷70 (через 8 мм)     | 1,5                  | 16,7 | 8,7   | 1300  | 0,72  |
| 19,05             | 45÷93 (через 12 мм)    | 1,5                  | 20,1 | 10,5  | 1550  | 0,86  |
| 25,4              | 50÷250                 | 2                    | 26,8 | 14,0  | 1700  | 1,25  |

#### 11.4.2.1. Материал цепей

Цепи должны быть износостойкими и прочными. Пластины цепей изготавливают из Стали 50, 40Х и других с закалкой до твердости 40...50 HRC. Оси, втулки, ролики, вкладыши и призмы – из цементуемых сталей, например Сталь 15, 20, 15Х и других с закалкой до твердости 52...65 HRC.

Долговечность цепных передач в основном зависит от материала и термической обработки их деталей. Для обеспечения износостойкости и сопротивляемости ударным нагрузкам детали цепей изготавливают из термически обработанных или цементуемых углеродистых или легированных сталей 60, 65Г, 20, 20Х и др.

Для предупреждения быстрого изнашивания приводные цепи необходимо смазывать. С этой целью предусматривают закрытые картеры с масляной ванной или другие конструктивные решения.

**11.4.2.2. Звездочки зубчатых цепных передач**

Профиль зубьев звездочки должен обеспечивать их износостойкость, технологичность при изготовлении, плавный вход в зацепление и выход из зацепления цепей.

Для обеспечения износостойкости и сопротивляемости ударным нагрузкам звездочки изготавливают из термически обработанных или цементуемых углеродистых или легированных сталей 60, 65Г, 20, 20Х и др. Звездочки тихоходных передач ( $v \leq 3$  м/с) при спокойных нагрузках можно изготавливать из серых чугунов (СЧ 21 и др.).

Звездочки любого профиля характеризуются следующими параметрами: шагом  $t$ , измеряемым по хорде; числом зубьев  $z$  и диаметром делительной окружности  $d$ , которая проходит через центры шарниров цепи. Заметим, что у звездочек зубчатых цепей  $d$  всегда больше диаметра наружной окружности  $D_e$  (табл. 11.56).

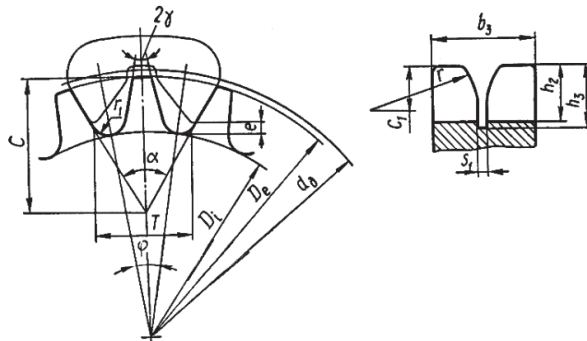


Рис. 11.26. Профиль звездочки для зубчатых цепей

Таблица 11.56

Параметры профиля зубьев звездочек с односторонним зацеплением по ГОСТ 13576-81

| Параметры   | Шаг цепи $t$ , мм |        |       |       |       |
|---|-------------------|--------|-------|-------|-------|
|   | 12,7              | 15,875 | 19,05 | 25,4  | 31,75 |
| Высота зуба $h_2$   | 8,3               | 10,3   | 12,4  | 15,9  | 19,9  |
| Радиальный зазор $e$  | 1,3               | 1,6    | 1,9   | 2,5   | 3,2   |
| Расстояние между кромками рабочих граней зубьев $T$ при $\alpha = 60^\circ$ | 14,11             | 17,73  | 21,22 | 28,33 | 35,35 |
| Расстояние от точки пересечения рабочих граней до наружной окружности $C$   | 20,52             | 25,65  | 30,76 | 41,03 | 51,34 |
| Радиус закругления впадины зуба $r_1$                                       | 1,5               | 2,0    | 2,0   | 2,5   | 3,5   |

Таблица 11.57

Основные геометрические параметры звездочек. Размеры в мм

| Параметры                      | Ведущей звездочки                           | Ведомой звездочки                         |
|--------------------------------|---|---|
| Шаг цепи                       | Значения определяют по параметрам цепи      |   |
| Диаметр делительной окружности | $d_{01} = t / \sin(180^\circ/z_1)$          | $d_{02} = t / \sin(180^\circ/z_2)$        |
| Диаметр наружной окружности    | $D_{e1} = t / \text{tg}(180^\circ/z_1)$     | $D_{e2} = t / \text{tg}(180^\circ/z_2)$   |
| Диаметр окружности впадин      | $D_{i1} = d_0 - 2h / \cos(180^\circ/z_1)$   | $D_{i2} = d_0 - 2h / \cos(180^\circ/z_2)$ |
| Ширина зуба звездочки          | $b_3 = B + 2s$                              |   |
| Глубина проточки               | $h_3 = 0,75t$                               |   |
| Ширина проточки                | $s_1 = 2s$                                  |   |
| Числа зубьев звездочек         | $z_1 = 35 - 2u \geq 17;$                    | $z_2 = z_1 u \leq 140,$                   |
| Передаточное отношение         | $u = z_2/z_1 = \omega_1/\omega_2 = n_1/n_2$ |   |

Угол поворота звена  $\phi = 360^\circ/z$ . Угол впадины зуба  $2\beta = \alpha - \phi$ . Половина угла заострена зуба  $\gamma - 30^\circ$ . Значения делительных диаметров звездочек (табл. 11.57), ширина зуба звездочки  $b_3 = B + 2s$ , где  $B$  – ширина цепи (табл. 11.55). Расстояние от вершины зуба до линии центров  $C_1 \approx 0,4t$ . Глубина проточки  $h_3 = 0,75t$ ; ширина проточки  $s_1 = 2s$ , где  $s$  – толщина пластины (табл. 11.55). Радиус закругления торца зуба и направляющей проточки  $r \approx t$ .

При определении значения чисел зубьев  $z_1$  необходимо учитывать передаточное отношение цепной передачи. Рекомендуемая зависимость этих параметров приведена в табл. 11.58.

Таблица 11.58

Рекомендуемые значения  $z_{min}$  в зависимости от  $u$

| $u$       | 1÷2   | 2÷3   | 3÷4   | 4÷5   | 5÷6   | 6     |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $z_{min}$ | 35÷33 | 33÷29 | 29÷25 | 25÷23 | 23÷19 | 19÷17 |



Частоту вращения меньшей звездочки  $n_1$  мин<sup>-1</sup>, по опытным данным рекомендуется ограничивать значением

$$[n_1] \leq 17 \cdot 10^3 \frac{\sqrt[4]{z_1}}{t}$$

Число ударов  $w$  при набегании и сбегании цепи не должно превышать допускаемого значения  $[w]$ .

$$w = \frac{4z_1 n_1}{60L_t} \leq [w] = \frac{800}{t} - 0,2t,$$

где,  $L_t$  – число звеньев цепи.

Допускаемые значения числа ударов цепи  $w$  приведены в табл. 11.59.

Таблица 11.59

| Допускаемые значения числа ударов цепи $w$ |      |        |       |      |       |
|--|------|--------|-------|------|-------|
| Шаг цепи $t$ , мм                          | 12,7 | 15,575 | 19,05 | 25,4 | 31,75 |
| Число ударов, с                            | 60   | 50     | 40    | 25   | 20    |

Максимальное значение шага цепи ограничивают угловой скоростью малой звездочки по условию  $\omega_1 \leq \omega_{1 \max}$  или  $[n_1]$  (табл. 11.60).

Таблица 11.60

| Число зубьев $z_1$ | Наибольшие допустимые значения $[n_1]$ (мин <sup>-1</sup> ) малой звездочки |        |       |      |       |
|--------------------|---|--------|-------|------|-------|
|                    | Шаг $t$ , мм  |        |       |      |       |
|                    | 12,7  | 15,875 | 19,05 | 25,4 | 31,75 |
| $z_1 \geq 17$      | 2700  | 2100   | 1800  | 1350 | 1000  |

В качестве расчетной принимают среднюю скорость цепи, м/с

$$v_{cp} = \frac{tz_1 \omega_1}{2\pi 10^3} = \frac{tz_2 \omega_2}{2\pi 10^3} = \frac{z_1 t n_1}{60 \cdot 10^3},$$

где  $t$  – шаг цепи, мм;  $z_1$  и  $z_2$  – числа зубьев ведущей и ведомой звездочек;  $\omega_1$  и  $\omega_2$  – угловые скорости ведущей и ведомой звездочек, рад/с,  $n_1$  – в мин<sup>-1</sup>.

Работа зубчатых цепей вследствие лучших условий их зацепления с зубьями звездочек отличается повышенной плавностью и бесшумностью, что очень важно при больших скоростях, при  $v \leq 25$  м/с.

Параметры цепной передачи – межзвездное расстояние  $a$ , длину цепи  $L$  и силы, действующие в передаче, определяют так же, как и в случае передачи с роликковыми цепями.

В поперечном сечении профиль звездочки зависит от ширины цепи  $b$  (рис. 11.26). Главный параметр зубчатой цепи – ее ширину  $B$ , в мм, определяют по формуле

$$B \geq 250 \frac{PK_s}{K_v t \cdot \sqrt[3]{v^2}},$$

где  $P$  – передаваемая мощность, кВт; коэффициент  $K_s$ , учитывающий условия монтажа и эксплуатации, имеет то же значение, что и в передаче роликковой цепью.

Коэффициент эксплуатации и динамичности нагрузки  $K_s, K_d = 1$  (нагрузка равномерная).

Коэффициент  $K_v = 1 - 1,1 \cdot 10^{-3} v^2$ .

Коэффициент запаса прочности передачи  $s$  определяют по зависимости

$$s = \frac{QB10^3}{F_1 K_d + F_v + F_f},$$

где  $Q$  – разрушающая нагрузка, (табл. 11.55), Н;  $F$  – окружная сила;  $K_d$  – динамический коэффициент,  $F_v = qBv^2$  – центробежная сила;  $F_f = 9,81 k_f qA$  – сила от провисания цепи, Н ( $k_f$  – коэффициент, учитывающий расположение цепи: при горизонтально расположенной цепи  $k_f = 6$ ; при наклонной (под 45°)  $k_f = 1,5$ ; при вертикальной  $k_f = 1$ ).

Расчетный коэффициент запаса прочности  $s$  должен удовлетворять условию  $s \geq [s]$ , где  $[s]$  – допускаемый коэффициент запаса прочности (табл. 11.61).

Таблица 11.61

| $t$ , мм | Нормативные коэффициенты запаса прочности $[s]$ приводных зубчатых цепей (с односторонним зацеплением) |     |     |     |     |     |     |     |      |
|----------|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
|          | Частота вращения меньшей звездочки $n_1$ , мин <sup>-1</sup>   |     |     |     |     |     |     |     |      |
|          | 50   | 100 | 200 | 100 | 400 | 500 | 600 | 800 | 1000 |
|          | [s]  |     |     |     |     |     |     |     |      |
| 12,7     | 20   | 21  | 22  | 23  | 24  | 25  | 26  | 28  | 30   |
| 15,875   | 20   | 21  | 22  | 24  | 25  | 26  | 27  | 30  | 32   |
| 19,05    | 21   | 22  | 23  | 24  | 26  | 28  | 29  | 32  | 35   |
| 25,4     | 21   | 22  | 24  | 26  | 28  | 30  | 32  | 36  | 40   |
| 31,75    | 21   | 22  | 25  | 26  | 30  | 32  | 35  | 40  | –    |

Расчет заканчивается определением геометрических параметров передачи, нагрузок, действующих в ней, проверкой коэффициента прочности цепи – аналогично тому, как это изложено выше в расчете передачи приводными роликовыми цепями, с тем, однако, отличием, что расчетный коэффициент прочности должен быть не меньше нормативного [s], указанного в табл. 11.61.

### Пример

Передача с приводной зубчатой цепью, работающая при равномерной нагрузке. Исходные данные: передаваемая мощность  $P=5,5$  кВт; угловая скорость ведущей звездочки  $\omega=294$  рад/с; передаточное число  $u=3,0$ .

#### Вычисление

Выбираем минимальное число зубьев меньшей звездочки по формуле

$$z_1 = 35 - 2u = 35 - 2 \cdot 3,0 = 29$$

с учетом рекомендаций принимаем  $z_1 = 31$ ,

$$\text{тогда } z_2 = z_1 u = 31 - 3,0 = 93.$$

Условие  $z_2 < 140$  соблюдается.

Ориентируясь на максимально допускаемое значение угловой скорости малой звездочки, приведенное в табл. 11.60, выбираем шаг цепи  $t = 12,7$  мм.

$$\text{Скорость цепи } v = \frac{z_1 t n_1}{60 \cdot 1000} = t z_1 \omega / 2\pi = 254 \cdot 31 \cdot 12,7 \cdot 10^{-3} / 2 \cdot 3,14 = 18,4 \text{ м/с.}$$

Расчетная ширина цепи

Коэффициент эксплуатации и динамичности нагрузки  $K, K_d = 1$  (нагрузка равномерная).

Коэффициент  $K_v = 1 - 1,1 \cdot 10^{-3} v^2 = 1 - 1,1 \cdot 10^{-3} \cdot 18,4^2 = 0,633$ .

Определяем ширину цепи

$$B \geq 250 \frac{PK_s}{K_v t \sqrt[3]{v^2}} = \frac{250 \cdot 1 \cdot 5,5}{0,633 \cdot 12,7 \cdot \sqrt[3]{18,4^2}} \text{ мм} = 28,3 \text{ мм.}$$

Принимаем 28,5 мм (табл. 11.55).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Анурьев В. И.** Справочник конструктора-машиностроителя: В 3 т. – М.:Машиностроение.
- Березовский Ю. Н., Чернилевский Д. В., Петров М. С.** Детали машин. М.: Машиностроение, 1983, 384 с.
- Воробьев И. И.** Ременные передачи. М., 1979.
- Готовцев А. А., Столбин Г. Б., Котенок И. П.** Проектирование цепных передач: Справочник. 2-е изд. М.: Машиностроение, 1982, 326 с.
- Гузенков П. Г.** Детали машин. 4-е изд. М.: Высшая школа,1986. 360 с.
- Скорыходов Е.А., Законников В.П., Пакнис А.Б. и др.** Общетехнический справочник. М.: Машиностроение, 1989, 512 с.
- Поляков В. С., Барбаш И, Д.** Муфты. Л.: Машиностроение, 1977, 392 с.
- Ряховский О.А., Иванов С.С.** Справочник по муфтам. Л.: Политехника,1991, 384 с.
- Скорыходов Е.А.** и др. Общетехнический справочник. М.: Машиностроение,1989
- Справочник машиностроителя. В 6 т. Под редакцией Н.С. Ачеркана, 1963.
- Стерин И.С.** Машиностроительные материалы. Л.: Лениздат, 1984, 272 с.
- Устюгов И.И.** Детали машин. 2-е изд. М.: Высшая школа, 1981, 400 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

|   |     |
|---|-----|
| ВВЕДЕНИЕ .....  | 3   |
| Глава 1. СИСТЕМА ЕДИНИЦ И МЕР ИЗМЕРЕНИЙ,<br>ПРИМЕНЯЕМЫХ В МАШИНОСТРОЕНИИ .....                          | 4   |
| 1.1. АЛФАВИТЫ И ЦИФРЫ.....  | 4   |
| 1.2. ЕДИНИЦЫ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН .....   | 4   |
| 1.3. СВОЙСТВА КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ .....  | 7   |
| 1.4. СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕХНИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ .....   | 10  |
| 1.5. РАСЧЕТ ПРЯМЫХ СТЕРЖНЕЙ ПОСТОЯННОГО СЕЧЕНИЯ НА УСТОЙЧИВОСТЬ .....                                   | 13  |
| <br>  |     |
| Глава 2. МАШИНЫ И ИХ УСТРОЙСТВО.....  | 15  |
| 2.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ .....   | 15  |
| 2.2. МЕХАНИЧЕСКИЕ ПЕРЕДАЧИ. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ .....  | 16  |
| 2.3. КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ПАРЫ, КИНЕМАТИЧЕСКАЯ СХЕМА .....  | 20  |
| 2.4. ОСНОВНЫЕ КИНЕМАТИЧЕСКИЕ И СИЛОВЫЕ СВЯЗИ<br>В МЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧАХ .....                          | 21  |
| 2.5. СОЕДИНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ И ИХ ТИПЫ .....   | 24  |
| 2.6. УСТАНОВКА МАШИНЫ НА ФУНДАМЕНТЕ.....  | 24  |
| <br>  |     |
| Глава 3. ПРИВОДЫ МАШИН.....   | 25  |
| 3.1. ПРИВОД ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ .....   | 25  |
| 3.2. ПРИВОД ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ.....   | 30  |
| 3.3. ПРИВОД ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ .....  | 36  |
| 3.4. ПРИВОД С СИСТЕМОЙ ЧИСЛОВОГО ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ (СЧПУ) .....                                   | 38  |
| <br>  |     |
| Глава 4. ТРЕНИЕ И СМАЗКА В МЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧАХ .....   | 41  |
| 4.1. ВЛИЯНИЕ ТРЕНИЯ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ .....                                       | 41  |
| 4.2. СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ .....   | 45  |
| 4.3. ПОДАЧА СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ .....  | 54  |
| <br>  |     |
| Глава 5. МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ .....   | 65  |
| 5.1. СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ<br>И ПОНЯТИЯ .....                      | 65  |
| 5.2. ТЕОРИЯ СПЛАВОВ. ОСНОВЫ.....  | 73  |
| 5.3. ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫЕ СПЛАВЫ .....  | 74  |
| 5.4. ТЕРМИЧЕСКОЕ УПРОЧНЕНИЕ СТАЛЕЙ .....  | 77  |
| 5.5. ЧУГУНЫ. ОСНОВНЫЕ МАРКИ, СВОЙСТВА И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ .....   | 86  |
| 5.6. СТАЛИ УГЛЕРОДИСТЫЕ. ОСНОВНЫЕ МАРКИ, СВОЙСТВА И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ.....                                  | 90  |
| 5.7. СТАЛИ И СПЛАВЫ ЛЕГИРОВАННЫЕ (ГОСТ 4543–71).....  | 93  |
| 5.8. ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ. МАРКИ, ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА<br>И ПРИМЕНЕНИЕ .....                           | 109 |
| 5.9. АНТИФРИКЦИОННЫЕ (ПОДШИПНИКОВЫЕ)<br>И ФРИКЦИОННЫЕ (ТОРМОЗНЫЕ) МАТЕРИАЛЫ .....                       | 122 |
| 5.10. МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ПОЛУЧАЕМЫЕ<br>МЕТОДОМ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ. МЕТАЛЛОКЕРАМИКА ..... | 127 |
| 5.11. МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ .....  | 129 |
| 5.12. КЛЕЕВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ.....   | 134 |
| 5.13. ЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ .....   | 135 |

|   |     |
|---|-----|
| Глава 6. НЕРАЗЪЕМНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ.....  | 141 |
| 6.1. СОЕДИНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ НА ЗАКЛЕПКАХ.....   | 141 |
| 6.2. СОЕДИНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ СВАРКОЙ.....  | 146 |
| 6.3. СОЕДИНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ С ГАРАНТИРОВАННЫМ НАТЯГОМ.....                                | 156 |
| 6.4. СОЕДИНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ КЛЕЕВЫЕ.....  | 159 |
| 6.5. СОЕДИНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ПАЙКОЙ. ПРИПОИ И ФЛЮСЫ.....                                   | 161 |
| <br>  |     |
| Глава 7. РАЗЪЕМНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ.....  | 165 |
| 7.1. РЕЗЬБЫ И РЕЗЬБОВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ.....                                       | 165 |
| 7.2. ЭЛЕМЕНТЫ РЕЗЬБЫ (СБЕГИ, НЕДОРЕЗЫ, ПРОТОЧКИ И ФАСКИ).....                         | 176 |
| 7.3. СТАНДАРТНЫЕ КРЕПЕЖНЫЕ ДЕТАЛИ.....  | 181 |
| 7.4. СОЕДИНЕНИЯ СТАНДАРТНЫХ РЕЗЬБОВЫХ КРЕПЕЖНЫХ ИЗДЕЛИЙ.....                          | 198 |
| 7.5. РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ СОЕДИНЕНИЙ РЕЗЬБОВЫХ КРЕПЕЖНЫХ ДЕТАЛЕЙ.....                  | 205 |
| 7.6. ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ НА РЕЗЬБОВЫЕ КРЕПЕЖНЫЕ ИЗДЕЛИЯ<br>С МЕТРИЧЕСКОЙ РЕЗЬБОЙ..... | 212 |
| 7.7. ШТИФТЫ И ШТИФТОВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ.....   | 221 |
| 7.8. ШПЛИНТЫ.....   | 225 |
| 7.9. ВИНТЫ ГРУЗОВЫЕ.....  | 226 |
| 7.10. БОЛТЫ ФУНДАМЕНТНЫЕ.....   | 226 |
| 7.11. КЛИНОВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ.....  | 229 |
| 7.12. ШЛИЦЕВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ.....  | 231 |
| 7.13. ШПОНОЧНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ.....   | 235 |
| 7.14. ШЛИЦЕВЫЕ ТРЕУГОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ.....  | 245 |
| 7.15. СОЕДИНЕНИЯ С КВАДРАТНЫМ ВАЛОМ.....  | 248 |
| <br>  |     |
| Глава 8. ТРУБОПРОВОДЫ.....  | 250 |
| 8.1. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРУБОПРОВОДОВ.....                                       | 250 |
| 8.2. РАСЧЕТ ОБЪЕМА РАСХОДА ЖИДКОСТИ ИЛИ СЖАТОГО ВОЗДУХА.....                          | 251 |
| 8.3. ТРУБОПРОВОДЫ. ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ.....   | 253 |
| 8.4. РЕЗЬБОВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ТРУБОПРОВОДА.....   | 256 |
| 8.5. СВАРНЫЕ И ПАЯНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ.....   | 259 |
| 8.6. ГИБКИЕ СОЕДИНЕНИЯ (РУКАВА ВЫСОКОГО И НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ).....                      | 260 |
| 8.7. МОНТАЖ ТРУБОПРОВОДОВ.....  | 261 |
| <br>  |     |
| Глава 9. МУФТЫ, ХРАПОВЫЕ МЕХАНИЗМЫ, ТОРМОЗА.....                                      | 263 |
| 9.1. НАЗНАЧЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ МУФТ.....                           | 263 |
| 9.2. МУФТЫ СОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ ЖЕСТКИЕ.....  | 264 |
| 9.3. МУФТЫ КОМПЕНСИРУЮЩИЕ САМОУСТАНАВЛИВАЮЩИЕСЯ.....                                  | 266 |
| 9.4. МУФТЫ УПРУГИЕ.....   | 273 |
| 9.5. МУФТЫ СЦЕПНЫЕ.....   | 281 |
| 9.6. МУФТЫ ФРИКЦИОННЫЕ (АСИНХРОННЫЕ).....   | 283 |
| 9.7. МУФТЫ САМОДЕЙСТВУЮЩИЕ.....   | 289 |
| 9.8. МУФТЫ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫЕ.....   | 295 |
| 9.9. ХРАПОВЫЕ МЕХАНИЗМЫ.....  | 299 |
| 9.10. ТОРМОЗА.....  | 303 |
| <br>  |     |
| Глава 10. ПРУЖИНЫ.....  | 317 |
| 10.1. НАЗНАЧЕНИЕ, МАТЕРИАЛЫ И СВОЙСТВА ПРУЖИН.....                                    | 317 |
| 10.2. ПРУЖИНЫ ВИНТОВЫЕ СЖАТИЯ И РАСТЯЖЕНИЯ<br>С ВИТКАМИ КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ.....         | 318 |
| 10.3. ПРУЖИНЫ ВИНТОВЫЕ КРУЧЕНИЯ С ВИТКАМИ КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ.....                       | 326 |
| 10.4. ПРУЖИНЫ ТАРЕЛЬЧАТЫЕ.....  | 330 |
| 10.5. ПРУЖИНЫ ПЛОСКИЕ ЛЕНТОЧНЫЕ И РЕССОРЫ.....  | 332 |
| 10.6. ПРУЖИНЫ ПЛОСКИЕ СПИРАЛЬНЫЕ ЛЕНТОЧНЫЕ.....                                       | 334 |

|   |     |
|---|-----|
| 10.7. КОЛЬЦА ПРУЖИННО-ЗАТЯЖНЫЕ .....                            | 338 |
| 10.8. ПРУЖИНЫ ПРОРЕЗНЫЕ .....                                   | 343 |
| Глава 11. ПЕРЕДАЧИ ФРИКЦИОННЫЕ И ПЕРЕДАЧИ С ГИБКОЙ СВЯЗЬЮ ..... | 345 |
| 11.1. ПЕРЕДАЧИ ФРИКЦИОННЫЕ .....                                | 345 |
| 11.2. ВАРИАТОРЫ ФРИКЦИОННЫЕ .....                               | 348 |
| 11.3. ПЕРЕДАЧИ РЕМЕННЫЕ .....                                   | 354 |
| 11.4. ПЕРЕДАЧИ ЦЕПНЫЕ .....                                     | 378 |
| СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....   | 391 |



# **КОНСТРУКТОР**

## **машиностроитель**

**[WWW.KONSTRUKTOR.NET](http://WWW.KONSTRUKTOR.NET)**

---

---

**ПРОБЛЕМЫ МАШИНОСТРОЕНИЯ И АВТОМАТИЗАЦИИ**  
*Международный периодический научно-технический журнал, ISSN 0234-6206*  
<http://pma-ntp.ru>; <http://www.elibrary.ru>

---

---



**Издатели:**

- Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН;
- Национальный институт авиационных технологий;
- Национальная технологическая палата.

Свидетельство о регистрации ПИ № 77-16852 от 20.11.2003 г.  
Начало издания - 1982 г.; периодичность - 4 номера в год.

**Главный редактор - академик Р.Ф. Ганиев (Россия).**

**В редколлегии журнала представлены известные ученые и специалисты Беларуси, Болгарии, Великобритании, Венгрии, Германии, Испании, Индии, Китая, Польши, России, Румынии, Сербии, США и Украины.**

В журнале публикуются актуальные материалы (обзоры, статьи, сообщения) по результатам научных исследований и практических разработок в России и за рубежом в области машиноведения и машиностроения, а также о передовом опыте, новых материалах и прогрессивных технологиях, включая проблемы экономики, управления, автоматизации и инноваций.

**Разделы журнала:** Научные, технические и экономические проблемы; Атомное машиностроение; Прогрессивные технологии в машиностроении; Новости. Сообщения. Информация.

**Журнал “Проблемы машиностроения и автоматизации” включен в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации на соискание ученой степени кандидата и доктора наук.**

Журнал реферируется ВИНТИ и включен в Базы данных ВИНТИ.

Журнал “Проблемы машиностроения и автоматизации” – Победитель конкурса научно-технических проектов и грантов Москвы (2005 г.).

С 2015 г. журнал издается на английском языке компанией “Allerton Press, Inc.”

**Журнал издается и распространяется в печатном и электронном виде:**

- печатный вид – бумажный носитель, объем одного номера 120-140 стр.;
- электронный вид – выпуски на CD-дисках отдельных номеров и годовых комплектов; архив номеров за 2006-2014 гг. с поисковой системой (формат PDF).

**Распространение журнала «Проблемы машиностроения и автоматизации» осуществляется по подписке через организации: Агентство “Книга-Сервис” - каталог “Пресса России” (индекс 86302), Агентство “Роспечать”, каталог “Издания органов НТИ” (59696), ООО “Информнаука” (59696), ЗАО “МК - Периодика” (70729) и Национальную технологическую палату.**

**Адрес редакции: ОАО НИАТ (Редакция журнала  
“Проблемы машиностроения и автоматизации”)**

| <b>Фактический</b>  | <b>Почтовый</b>                  |
|---|----------------------------------|
| Россия, 115230, Москва, Электролитный проезд, 5Б, оф.93<br>Тел./факс: +7 (499) 794-33-30,<br>e-mail: <a href="mailto:mvtk@mail.ru">mvtk@mail.ru</a> | 127051, Москва, ул. Петровка, 24 |

**Отв. секретарь редакции: Костин Анатолий Михайлович: тел.: +7 (905) 714-26-61;  
e-mail: [anatk@mail.ru](mailto:anatk@mail.ru)**

# ИНСТРУМЕНТ • ТЕХНОЛОГИЯ • ОБОРУДОВАНИЕ

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

С ПРИЛОЖЕНИЕМ ГАЗЕТЫ ИТО НОВОСТИ

# ИТО

## Подписка на Комплект: ИТО

во всех почтовых

отделениях по каталогам:

«АГЕНТСТВО «РОСПЕЧАТЬ»

годовая подписка – **80467**

полугодие – **81249**

«ПРЕССА РОССИИ»

годовая подписка – **42479**

полугодие – **42049**

### ПОДПИСКА ЧЕРЕЗ РЕДАКЦИЮ:

Вы можете оформить подписку  
с любого месяца через редакцию  
Тел./факс: (499) 369 57 08  
E-mail: [pressaito@ito-news.ru](mailto:pressaito@ito-news.ru)



**АНАЛИЗ РЫНКА,  
НОВИНКИ  
ИНСТРУМЕНТА  
ТЕХНОЛОГИЙ  
ОБОРУДОВАНИЯ  
ВЕДУЩИХ МИРОВЫХ  
ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ**

*Только полезная  
информация*



Издательство «ИТО» – [www.ito-news.ru](http://www.ito-news.ru)

# Книги почтой

Заказ можно сделать на сайте издательства

[www.infra-e.ru](http://www.infra-e.ru)

| № п/п | Наименование книги   | Кол-во |
|-------|--|--------|
| 1     | СПРАВОЧНИК КОНСТРУКТОРА<br><i>Книга 1. Машины и механизмы</i><br><i>Книга 2. Проектирование машин и их деталей</i> |        |
| 2     | АРМАТУРА ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНАЯ<br><i>Выбор, установка и расчет</i>   |        |
| 3     | Блочно-матричный метод математического моделирования поверхностей  |        |
| 4     | Возможности улучшения качества кокса вне печной камеры   |        |
| 5     | Математическое обеспечение чертежа при конструировании деталей в машиностроении                                    |        |
| 6     | Модернизация двигателей внутреннего сгорания   |        |
| 7     | Модернизация станочного парка промышленных предприятий   |        |
| 8     | Обеспечение качества продукции в машиностроении  |        |
| 9     | Оборудование для намотки сортового проката и катанки.<br>Теория и конструкции                                      |        |
| 10    | СЛЕСАРНОЕ ДЕЛО. Слесарные работы при изготовлении и ремонте машин. Книга 1   |        |
| 11    | СЛЕСАРНОЕ ДЕЛО. Механическая обработка деталей на станках. Книга 2   |        |
| 12    | СЛЕСАРНОЕ ДЕЛО. Сборка производственных машин. Книга 3   |        |
| 13    | Справочник мастера машиностроительного производства  |        |
| 14    | Основы вибродиагностики и средства измерения вибрации  |        |
| 15    | Теория и практика производства червячных передач общего вида   |        |
| 16    | Токарная обработка   |        |
| 17    | Экспертные методы управления технологичностью промышленных изделий   |        |



# СЛЕСАРНОЕ ДЕЛО

Издательство «Инфра-Инженерия»  
представляет новую книгу

## «Слесарное дело» в трех томах.

Объем – 1472 стр., формат – 60\*84/16, переплет: твердый.

Книга написана с учетом отзывов и предложений, поступивших от преподавателей, мастеров производственного обучения училищ, лицеев и техникумов по книге «Слесарные работы (при изготовлении, техническом обслуживании и ремонте производственных машин)». В результате учтенных предложений «Слесарное дело» дополнено недостающим материалом (по станкам, по инструменту и по сборке) и для удобства использования в рабочем процессе изучения предмета разделено на три отдельные части:

Книга 1: «Слесарные работы при изготовлении и ремонте машин».

Книга 2: «Механическая обработка деталей на станках».

Книга 3: «Сборка производственных машин».

Содержание книг соответствует Федеральному государственному образовательному стандарту среднего профессионального образования по профессии 151903.02 Слесарь (утв. приказом Министерства образования и науки РФ от 2 августа 2013 г. N 817) и предназначается в качестве учебного пособия для начального и среднего профессионального образования в специальных учебных заведениях и для молодых рабочих, совершенствующих свое мастерство на машиностроительном производстве.

**ФЕЩЕНКО ВЛАДИМИР НИКОЛАЕВИЧ**

**СПРАВОЧНИК КОНСТРУКТОРА**

**Книга 1. Машины и механизмы**

*Учебно-практическое пособие*

*3-е издание*

Редактор  
**И. А. Лукина**

Верстка  
**А. О. Зайцев**

Корректор  
**И. Н. Моисеев**

ISBN 978-5-9729-0252-1



ISBN 978-5-9729-0254-5



Подписано в печать 27.06.2019  
Формат 70x100/16. Бумага офсетная.  
Гарнитура «Таймс».

**Издательство «Инфра-Инженерия»**  
**160011, г. Вологда, ул. Козленская, д. 63**  
**Тел.: 8(911)512-48-48**  
**E-mail: [infra-e@yandex.ru](mailto:infra-e@yandex.ru)**  
**[www.infra-e.ru](http://www.infra-e.ru)**

Издательство приглашает  
к сотрудничеству авторов  
научно-технической литературы