

УДК 62  
ББК 34.42

Р. М. Гоцеридзе

# ПРОЦЕССЫ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ И ИНСТРУМЕНТЫ

Профессиональное образование

Учебник



ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

  
ACADEMIA

**Р. М. ГОЦЕРИДЗЕ**

# **ПРОЦЕССЫ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ И ИНСТРУМЕНТЫ**

**УЧЕБНИК**

*Рекомендовано  
Федеральным государственным учреждением  
«Федеральный институт развития образования»  
в качестве учебника для использования  
в учебном процессе образовательных учреждений,  
реализующих программы среднего профессионального  
образования*

*Регистрационный номер рецензии 310  
от 16 июня 2009 г. ФГУ «ФИРО»*

7-е издание, переработанное и дополненное



Москва  
Издательский центр «Академия»  
2016

УДК 621(075.32)

ББК 34.4я723

Г584

Рецензенты:

профессор Российского государственного технологического университета  
им. К. Э. Циолковского (МАТИ) *В. И. Молодницкий*;  
преподаватель ГОУ «Мытищинский машиностроительный техникум-предприятие»  
*В. А. Базлов*

### **Гоцеридзе Р.М.**

Г584 Процессы формообразования и инструменты : учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / Р.М.Гоцеридзе. — 7-е изд., перераб. и доп. — М. : Издательский центр «Академия», 2016. — 432 с.

ISBN 978-5-4468-2799-2

Учебник создан в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом среднего профессионального образования по специальности «Технология машиностроения», ОП.06 «Процессы формообразования и инструменты».

Рассмотрены современные и перспективные технологические способы получения заготовок и деталей машин из металлов и неметаллических материалов литьем, обработкой давлением, сваркой, пайкой, резанием и другими способами формообразования. Описаны выбор режимов формообразования, типы инструментов, их конструкции и геометрия. Учтены уровни современного машиностроительного производства.

Для студентов учреждений среднего профессионального образования. Может быть полезен студентам вузов.

УДК 621(075.32)

ББК 34.4я723

*Оригинал-макет данного издания является собственностью  
Издательского центра «Академия», и его воспроизведение любым способом  
без согласия правообладателя запрещается*

© Гоцеридзе Р. М., 2006

© Гоцеридзе Р. М., 2016, с изменениями

© Образовательно-издательский центр «Академия», 2016

© Оформление. Издательский центр «Академия», 2016

ISBN 978-5-4468-2799-2

Данный учебник является частью учебно-методического комплекта по специальности «Технология машиностроения».

Учебник предназначен для изучения общепрофессиональной дисциплины «Процессы формообразования и инструменты».

Учебно-методические комплекты нового поколения включают в себя традиционные и инновационные учебные материалы, позволяющие обеспечить изучение общеобразовательных и общепрофессиональных дисциплин и профессиональных модулей. Каждый комплект содержит учебники и учебные пособия, средства обучения и контроля, необходимые для освоения общих и профессиональных компетенций, в том числе и с учетом требований работодателя.

Учебные издания дополняются электронными образовательными ресурсами. Электронные ресурсы содержат теоретические и практические модули с интерактивными упражнениями и тренажерами, мультимедийные объекты, ссылки на дополнительные материалы и ресурсы в Интернете. В них включены терминологический словарь и электронный журнал, в котором фиксируются основные параметры учебного процесса: время работы, результат выполнения контрольных и практических заданий. Электронные ресурсы легко встраиваются в учебный процесс и могут быть адаптированы к различным учебным программам.

# Предисловие

В учебнике учтены последние достижения научно-исследовательских институтов и машиностроительных предприятий. Приведенные сведения соответствуют отечественным (ГОСТ) и международным (ISO, CEN) стандартам и позволяют студенту приобрести знания, навыки и умения, необходимые для осуществления производственно-технологической, конструкторской и управленческой деятельности.

В технике стандартизовано практически все: аппаратура, измерительные приборы, черные и цветные металлы, блоки штампов, станки и прессы, припой и флюсы и т.д. Ссылки на номера ГОСТов можно найти в указателе «Национальные стандарты», который выпускается ежегодно.

В учебнике даны основные понятия, характеризующие объекты производства, производственный и технологический процессы, типы производства. Основное внимание уделено процессам формообразования и инструментам для механической обработки.

Автор выражает искреннюю благодарность академику Академии технологических наук, заведующему кафедрой «Технологии производства приборов и систем управления летательными аппаратами» «МАТИ» — РГТУ им. К. Э. Циолковского, профессору, доктору техн. наук В. М. Суменову, профессорам, докторам техн. наук А. Е. Древалю, Г. Р. Сагателяну, Б. И. Семенову, В. Г. Ковалеву и доцентам, канд. техн. наук О. М. Дееву, К. М. Куштарову и Н. П. Малевскому — за высококвалифицированные консультации, Л. П. Мазаевой и С. А. Серебряковой — за техническую подготовку рукописи.

**Техника** (гр. *techne* — искусство, ремесло, мастерство) — совокупность средств человеческой деятельности, созданных для осуществления процессов производства и обслуживания непродовственных потребностей общества. Первоначально понятие «техника» означало как процесс изготовления изделия, так и мастерство самого работника. Сегодня термин «техника» часто употребляют для совокупной характеристики навыков и приемов, используемых в какой-либо сфере деятельности человека.

Основное назначение техники — облегчение и повышение эффективности труда человека, расширение его возможностей, освобождение (частично или полностью) от работы в условиях, опасных для здоровья.

**Технология** (гр. *techne + logos* — учение) — совокупность методов (обработки и изготовления, изменения состояния, свойств, формы сырья, материала или полуфабриката), осуществляемых в процессе производства продукции; научная дисциплина, изучающая механические, физические, химические и другие закономерности, действующие в технологических процессах. Технологией называют также операции добычи, обработки, транспортирования, хранения, контроля, являющиеся частью общего производственного процесса.

**Инструмент** (лат. *instrument* — орудие) — орудие человеческого труда или исполнительный механизм машин. Инструмент — это приборы, устройства, приспособления, применяемые для измерений и других операций. Различают ручной, станочный и механизированный (ручные машины) инструмент.

Развитие техники и технологии неразрывно связано с *производством*, представляющим собой процесс создания материальных благ, которые необходимы для жизни человека и разных видов его деятельности. Производство существует на всех ступенях развития человеческого общества. Оно объединяет сам труд, предмет труда и средства труда. В структуру производства входят материально-техническая база, техника, технология, организация и управление, конструирование, планирование, контроль, снабжение, сбыт,

обслуживание. Для каждого этапа развития общества характерны свои отрасли хозяйства, которые создают определенный портрет этого общества.

В истории развития человеческого общества можно выделить следующие способы производства: первобытно-общинный, рабовладельческий, феодальный, социалистический и капиталистический. Каждому из этих способов производства соответствуют свои орудия труда, машины, сооружения и различные механизмы.

Современное производство объединяет все отрасли хозяйства страны, каждая из которых представляет собой совокупность предприятий, заводов, фабрик и т. д.

*Промышленность* зародилась в рамках натурального хозяйства, в котором сырье добывали и перерабатывали. Зарождение ремесла привело к выделению отраслей, а простая кооперация, мануфактуры и фабрики породили промышленность, которая благодаря научно-техническому прогрессу перерастает в современную высокотехнологичную индустрию.

## ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ, ОТНОСЯЩИЕСЯ К РАЗРАБОТКЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

### 1.1. ОБЪЕКТЫ ПРОИЗВОДСТВА

**Изделие** — это любой предмет или набор предметов производства, подлежащих изготовлению на предприятии, количество которых может исчисляться в штуках или экземплярах.

В зависимости от назначения различают изделия *основного* производства (предназначенные для реализации) и *вспомогательного* производства (предназначенные только для собственных нужд предприятия, изготовлявшего их).

К покупным относят изделия, не изготавливаемые на данном предприятии, а получаемые им в готовом виде.

Существуют следующие виды изделий: *детали*; *сборочные единицы*; *комплексы*; *комплекты*. В зависимости от наличия или отсутствия составных частей в изделиях их подразделяют на *неспецифицированные* (детали) — не имеющие составных частей, и *специфицированные* (сборочные единицы, комплексы, комплекты) — состоящие из двух и более составных частей.

**Деталь** — изделие, изготовленное из однородного по наименованию и марке материала без применения сборочных операций, например: валик из одного куска металла; литой корпус; пластина из биметаллического листа; печатная плата.

**Сборочная единица** — изделие, составные части которого подлежат соединению между собой на предприятии-изготовителе сборочными операциями (свинчиванием, клепкой, сваркой, пайкой, склеиванием и т.д.), например автомобиль, станок, микромодуль, редуктор, сварной корпус.

**Комплекс** — два (и более) специфицированных изделия (не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными опера-

циями, но предназначенных для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций), например поточная линия станков, автоматическая телефонная станция; бурильная установка; изделие, состоящее из ракеты, пусковой установки и средств управления; корабль.

**Комплект** — два (и более) изделия (не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями и представляющих собой набор изделий, имеющих общее эксплуатационное назначение вспомогательного характера), например комплект запасных частей, комплект инструмента и принадлежностей, комплект измерительной аппаратуры, комплект упаковочной тары и т. д.

**Полуфабрикат** — изделие предприятия-поставщика, подлежащее дополнительной обработке или сборке.

**Заготовка** — предмет производства, из которого изменением формы, размеров, чистоты поверхности и свойств материала изготавливают деталь или неразъемную сборочную единицу.

**Комплектуемое изделие** — изделие предприятия-поставщика, применяемое как составная часть другого изделия, выпускаемого другим предприятием.

**Производственная партия** — группа заготовок одного наименования и типоразмера, запускаемых в обработку одновременно или непрерывно в течение определенного интервала времени.

**Загел** — производственный запас заготовок или составных частей изделия для будущего бесперебойного выполнения технологического процесса.

**Типовое изделие** — изделие, принадлежащее к группе близких по конструкции изделий и обладающее наибольшим количеством конструктивных и технологических признаков этой группы.

## 1.2. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕССЫ

---

Производственный процесс представляет собой совокупность действий, в результате которых исходные материалы и полуфабрикаты превращаются в готовую продукцию, соответствующую своему назначению. В производственный процесс входят не только процессы, непосредственно связанные с изменением формы и свойств обрабатываемых заготовок, но и все необходимые вспомогательные процессы (подготовка производства, контроль, транспортировка цеховым и внутризаводским транспортом и др.).

Календарное время периодически повторяющегося производственного процесса, называется **производственным циклом**. Время, потребное для изготовления одного изделия, называется **трудоемкостью изделия**.

Остальное время производственного цикла расходуется на пролеживание заготовок: на операциях с партией изделий, между операциями, при контроле и на промежуточных складах.

**Норма времени** — регламентированное время выполнения технологической операции в определенных организационно-технических условиях одним или несколькими исполнителями соответствующей квалификации.

**Норма выработки** — регламентированное количество изделий, которое должно быть обработано или изготовлено в заданную единицу времени в определенных организационно-технических условиях одним или несколькими исполнителями соответствующей квалификации.

**Штучное время** — отношение календарного времени технологической операции к числу изделий, одновременно изготавливаемых на одном рабочем месте.

**Технологический процесс** — часть производственного процесса, содержащая в себе действия по изменению и последующему определению состояния предмета производства.

Различают два основных этапа технологического процесса: изготовление деталей и сборку.

Технологический процесс подразделяют на технологические операции, а операции — на установки, позиции, технологические и вспомогательные переходы, рабочие и вспомогательные ходы.

Технологической операцией называется законченная часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте одним рабочим или группой рабочих.

**Установ** — часть технологической операции, выполняемая при неизменном закреплении обрабатываемых заготовок или собираемой сборочной единицы.

**Позиция** — фиксированное положение, занимаемое неизменно закрепленной обрабатываемой заготовкой или собираемой сборочной единицей совместно с приспособлением относительно инструмента или неподвижной части оборудования для выполнения определенной части операции.

**Технологический переход** — законченная часть технологической операции, характеризующаяся постоянством применяемого инструмента и поверхностей, образуемых обработкой или соединяемых при сборке.

*Вспомогательный переход* — законченная часть технологической операции, состоящая из действий человека и (или) оборудования (которые не сопровождаются изменением формы, размеров и чистоты поверхностей, но необходимы для выполнения технологического перехода) — установка заготовки, смена инструмента и т. д.

*Рабочий ход* — законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, сопровождаемого изменением формы, размеров, чистоты поверхности или свойств заготовки.

*Вспомогательный ход* — законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, не сопровождаемого изменением формы, размеров, чистоты поверхности или свойств заготовки, но необходимого для выполнения рабочего хода.

*Приемом* называется часть операции, непосредственно связанная с подготовкой станка к выполнению отдельных переходов (подвод инструмента, пуск станка, останов его, включение подачи и т. д.). Приемы учитываются при нормировании операции.

Рассмотренная структура технологического процесса, включающая в себя операции (установы, позиции, переходы, ходы), называется четырехступенчатой. Она характерна для обработки деталей на металлорежущих станках.

Сборочные и частично электротехнические процессы характеризуются более простой — двухступенчатой — структурой, включающей в себя только два элемента: операции и переходы.

**Рабочее место** — часть производственной площади цеха, на которой размещены один или несколько исполнителей работы и обслуживаемая ими единица технологического оборудования или часть конвейера, а также оснастка и (на ограниченное время) предметы производства.

Рабочие места оснащают:

- *технологическим оборудованием*, т. е. орудиями производства, в которых для выполнения определенной части технологического процесса размещают материалы или заготовки, средства воздействия на них и (при необходимости) источники энергии (литейные машины, прессы, станки, печи, гальванические ванны, разметочные плиты, подъемно-транспортные средства, испытательные стенды и т. д.);
- *технологической оснасткой* — орудиями производства, добавляемыми к технологическому оборудованию для выполнения определенной части технологического процесса (режущий ин-

струмент, штампы, приспособления<sup>1</sup>, калибры, пресс-формы, модели, литейные формы и т. д.);

- *вспомогательными средствами*, включающими в себя тару, инвентарь (совокупность всех материальных ценностей, принадлежащих предприятию), устройства, обеспечивающие безопасность работы.

Подготовка технологического оборудования и оснастки к выполнению определенной технологической операции называется *наладкой*. К наладке относятся установка приспособления, переключение скорости или подачи, настройка заданной температуры и т. д.

**Погналажка** — дополнительная регулировка технологического оборудования и (или) оснастки в процессе работы для восстановления достигнутых при наладке значений параметров.

**Цикл технологической операции** — интервал календарного времени от начала до конца периодически повторяющейся технологической операции независимо от числа одновременно изготавливаемых изделий.

**Такт выпуска** — интервал времени, за который периодически производится выпуск изделий определенного наименования, типоразмера и исполнения.

**Ритм выпуска** — количество изделий определенного наименования, типоразмера и исполнения, выпускаемых в единицу времени.

### 1.3. ТИПЫ ПРОИЗВОДСТВА

Различают три основных типа производства: единичное (индивидуальное), серийное и массовое.

**Единичным** или **индивидуальным** называется такое **производство**, при котором изготовление одного или нескольких изделий или не повторяется совсем, или повторяется через неопределенные промежутки времени.

**Продукция единичного производства** — изделия, не имеющие широкого применения и изготавливаемые обычно по отдельным заказам.

Оснастка цехов и заводов единичного производства должна быть приспособлена к изготовлению разнообразной продукции и поэтому состоит из универсальных типов или, будучи специальной, из

<sup>1</sup> **Приспособлением** называют дополнительную часть оборудования, служащую для закрепления обрабатываемой заготовки, инструмента или расширения технологических возможностей станка: тиски, кондуктор и т. д.

готовляется упрощенной. Квалификация рабочих единичного производства должна быть высокой, что обусловлено разнообразным характером выполняемых работ.

**Серийным** называют такое **производство**, при котором изделия изготавливают партиями или сериями, регулярно повторяющимися через определенные промежутки времени.

В зависимости от масштабов выпуска различают **мелкосерийное** производство, приближающееся к единичному (разнообразная номенклатура изделий и незначительные масштабы выпуска), в котором применяют в основном универсальную оснастку и частично специальные приспособления, специальные режущие и измерительные инструменты, и **крупносерийное** (ограниченная номенклатура изделий и большой выпуск изделий), для которого характерно применение нормальной, специализированной, а в ряде случаев и специальной оснастки.

**Массовым** называют такое **производство**, при котором в течение длительного периода времени изготовление изделий ведут, выполняя на рабочих местах одни и те же постоянно повторяющиеся операции.

Вся оснастка технологического процесса имеет узкоспециализированный характер. Это экономически оправдано в случае постоянства технологического процесса. При массовом производстве наиболее благоприятны условия для механизации и автоматизации. Существуют две основные разновидности массового производства: поточное производство и производство непрерывным потоком.

**Поточным методом производства** называется такая организация производства, при которой рабочие места располагаются в соответствии с порядком выполнения операций, причем количество и производительность этих рабочих мест рассчитаны таким образом, что переход заготовок с одной операции на другую осуществляется без задержек и пролеживания.

Поточное производство имеет разную трудоемкость операций, поэтому станки загружены по времени неодинаково, малозагруженные станки работают периодически.

При **производстве непрерывным потоком** время (период) выполнения каждой операции с учетом времени транспортировки равно или кратно такту выпуска. В результате согласованности этих периодов заготовки передаются от одного станка к другому непрерывно. Такт выпуска  $\tau$ , мин, определяют по формуле

$$\tau = (T/N) \eta,$$

где  $T$  — определенный промежуток рабочего времени, мин;  $N$  — число объектов производства данного рода, изготавливаемых за этот промежуток времени;  $\eta$  — коэффициент использования оборудования по времени.

Поточное производство не обязательно должно быть массовым. Вполне оправдывают себя многономенклатурные поточные линии, на которых последовательно выполняют различные технологические процессы, периодически сменяющие друг друга.

Это достигается путем такого подбора деталей и, когда это необходимо, внесения таких изменений в их конструкцию, которые по возможности исключают необходимость переналадки станков, смены инструментов и т. д. С другой стороны, при построении технологических процессов в этом случае применяют такие станки, которые можно перенастраивать, и такие приспособления, каждое из которых можно использовать при выполнении соответствующей операции для всех заготовок или сборочных единиц, закрепленных за данной линией.

Тип производства количественно характеризуется коэффициентом закрепления операций

$$K_{з.о} = N/n,$$

где  $N$  — число всех различных технологических операций, выполненных или подлежащих выполнению в течение месяца;  $n$  — число рабочих мест.

Для массового производства  $K_{з.о}$  равен 1, т. е. на каждом рабочем месте закрепляется выполнение одной постоянно повторяющейся операции. Для крупносерийного производства  $K_{з.о}$  колеблется в диапазоне от 1 до 10 включительно, для среднесерийного — более 10 до 20 включительно, для мелкосерийного — более 20 до 40 включительно, для единичного производства — более 40.

## **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

---

1. Перечислите виды изделий.
2. Что такое производственный и технологический процессы?
3. Назовите элементы технологического процесса.
4. Какие существуют типы производства?
5. Каким коэффициентом характеризуют тип производства?
6. Что такое трудоемкость изделия, норма времени, норма выработки, штучное время?
7. Что такое рабочее место и каково его оснащение?

# ЛИТЬЕ

## 2.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

*Литье* — процесс получения изделий (называемых *отливками*) — литых деталей или заготовок из расплавов различных материалов (металлов, горных пород, композиционных материалов и др.). Технологический процесс литья состоит из следующих основных операций: изготовление модели, изготовление литейной формы; плавка материалов; заливка литейной формы расплавом и охлаждение отливки, удаление (выбивка) отливки из формы; удаление литников<sup>1</sup> и зачистка отливки. Отливки подвергаются в дальнейшем механической обработке.

Основной инструмент литейного производства — *литейная форма*. Она образует рабочую полость (требуемой конфигурации и размеров), при заливке в которую расплавленного материала из него при охлаждении и затвердевании формируется отливка. Литейная форма состоит из формы для воспроизведения наружных поверхностей отливок, литейных стержней для образования полостей и отверстий внутри отливок, литниковой системы.

От качества изготовления формы в значительной степени зависит и качество отливки. Существуют разовые, полупостоянные и постоянные формы. *Разовые* формы служат один раз, их разрушают при удалении отливки; *полупостоянные* — позволяют получить несколько отливок; *постоянные* — от нескольких десятков до сотен тысяч отливок.

<sup>1</sup> *Литник* — элемент литниковой системы (совокупности каналов), служащий для заполнения рабочей полости литейной формы расплавом.

Примерно для 50 % всех деталей машин и промышленного оборудования заготовительной операцией является литье. Например, доля литых деталей в молоте составляет 95 %, в металлорежущих станках — 80 %, в текстильных машинах — 72 %, в автомобилях и тракторах — 55 %. Во многих случаях литье — наиболее простой и дешевый способ формообразования заготовок. Литьем изготавливают заготовки для блоков цилиндров, поршней двигателей внутреннего сгорания, заготовки рабочих колес насосов, лопастей газовых турбин, станин станков и т. д.

Для изготовления песчаных литейных форм служат формовочные смеси.

**Формовочная смесь** — многокомпонентная смесь формовочных материалов. Состав смеси соответствует условиям технологического процесса изготовления неметаллических литейных форм.

Формовочные смеси состоят из кварцевого песка, глины, крепителя (в частности, жидкого стекла) и противопригарных добавок (каменного угля для чугунных отливок, мазута для бронзовых отливок и др.), смешиваемых с некоторым количеством воды. В состав формовочной смеси обычно входят отработанная смесь — 94...96 %, свежие материалы (песок, глина) — 3...5 %, добавки (каменноугольная пыль) — 0,5 %.

**Формовочный материал** — совокупность природных и искусственных материалов, используемых для приготовления формовочных и стержневых смесей.

Для приготовления литейных стержней применяют быстросохнущие стержневые смеси. После изготовления стержни сушат при температуре 200 °С. В целях ускорения процесса сушки в качестве крепителя применяют жидкое стекло. Состав стержневых смесей: кварцевый песок — 92 %, формовочная глина — 2 %, связующий материал (синтетические и естественные смолы, поливиниловый спирт и др.) — 6 %.

**Литниковая система** — система каналов (элементов) литейной формы для подвода в ее полость расплавленного материала, обеспечивающая заполнение формы и питание отливки при затвердевании.

**Прибыль** — это часть отливки, выходящая за пределы ее номинальных размеров. Прибыль служит для питания жидким материалом отливок в период затвердевания, и тогда усадочная раковина образуется не в отливке, а в прибыли.

**Литейный стержень** — отъемная часть литейной формы для образования отверстия, полости или иного сложного контура внутри отливки. Литейные стержни устанавливают на опорные поверхности (знаки модели или жеребейки) литейной формы.

**Стержневой ящик** — приспособление, имеющее рабочую полость для получения в ней литейного стержня нужных размеров и очертаний из стержневой смеси.

**Литейная опока** — приспособление в виде жесткой рамы или открытого ящика для удержания формовочной смеси при ее уплотнении (изготовлении литейной формы), ее транспортировке и при заливке формы жидким материалом.

**Литейная модель** — приспособление для получения в литейной форме рабочей полости, в которой будет оформляться наружная поверхность отливки. Литейная модель является обычно частью модельного комплекта, включающего в себя также модели элементов литниковой системы: чаши, стояка, питателей, выпора и прибылей.

Стандарты в зависимости от способа изготовления отливок, их габаритных размеров и типа сплава устанавливают 22 класса точности, которые не совпадают с качествами ISO и ЕСПД СЭВ.

Конструируя литую деталь, необходимо учитывать такие литейные свойства заливаемого сплава, как жидкотекучесть, усадку и кристаллизацию.

Жидкотекучесть расплавленного материала определяет выбор оптимальной толщины стенки отливки. Чем больше жидкотекучесть, тем тоньше может быть получаемая стенка. В то же время жидкотекучесть зависит от условий теплоотдачи в форме. В водоохлаждаемых стальных формах жидкотекучесть сплава падает очень быстро.

Линейная усадка вызывает образование трещин и коробление вследствие торможения усадки в отдельных местах отливки. Объемная усадка приводит к образованию усадочной пористости (рис. 2.1, а) в утолщенных местах отливок.

Кристаллизация сплава происходит в направлении, перпендикулярном поверхности теплоотдачи. Скорость кристаллизации меняется от максимальной у поверхности до минимальной в середине стенки отливки.

Одновременно происходит рост кристаллов-зерен. Для создания равномерной и мелкозернистой структуры желательно уменьшать толщину стенок отливок.

Отливки конструируют либо для затвердевания по всему объему (рис. 2.1, б), либо для направленного (переменного) затвердевания (рис. 2.1, в, г), которое обеспечивает максимальную плотность литых деталей и отсутствие усадочных раковин. С этой точки зрения наиболее рациональны конструкции отливок с равномерно возрастающей толщиной стенок (см. рис. 2.1, в, г).

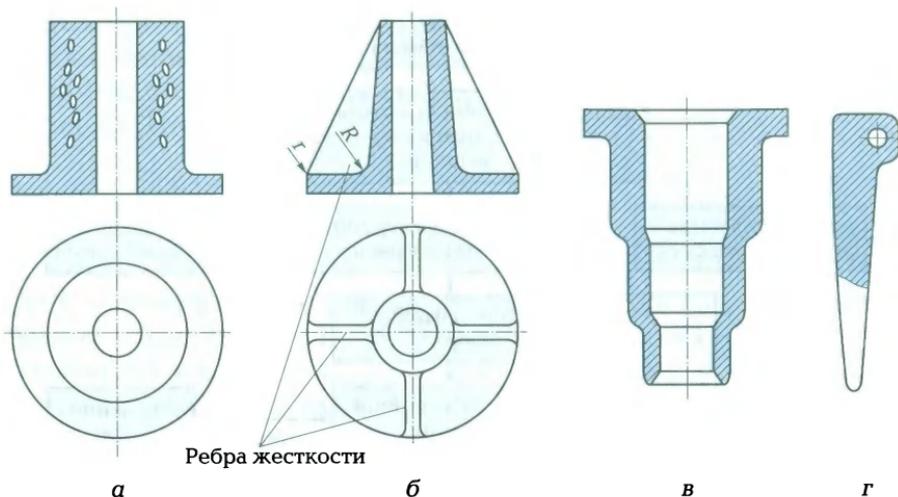


Рис. 2.1. Конструкции отливок:

*a* — нетехнологичная; *б* — технологичная, равностенная, с ребрами жесткости, с радиусами ( $r$ ,  $R$ ) закруглений, с конусностью; *в*, *г* — технологичные, с равномерно возрастающей толщиной стенок

Литейные свойства сплавов определяются равностенностью или равномерно возрастающей толщиной стенок; радиусами закруглений в местах сопряжения поверхностей; плавными переходами от больших толщин стенок к меньшим (и наоборот); уклонами (для цилиндров — конусностью) в направлении извлечения модели или отливки из формы; отверстиями (минимальными значениями их диаметров  $D_{\min}$  и максимальными отношениями длины отверстия  $L$  к его диаметру  $D$ ); армированием отливок деталями из более тугоплавких и более технологичных при механической обработке материалов.

## 2.2. ЛИТЬЕ В ЗЕМЛЮ (В ПЕСЧАНЫЕ ФОРМЫ)

Сущность литья в песчаные (песчано-глинистые) формы (рис. 2.2) — изготовление отливок свободной заливкой расплавленного материала в песчаную форму (разовую литейную форму, изготовленную уплотнением формовочной смеси). После затвердевания и охлаждения отливки осуществляется ее выбивка с одновременным разрушением формы.

Чертеж отливки разрабатывают на основе чертежа литой детали с учетом припусков, литейных уклонов, напусков, приливов,

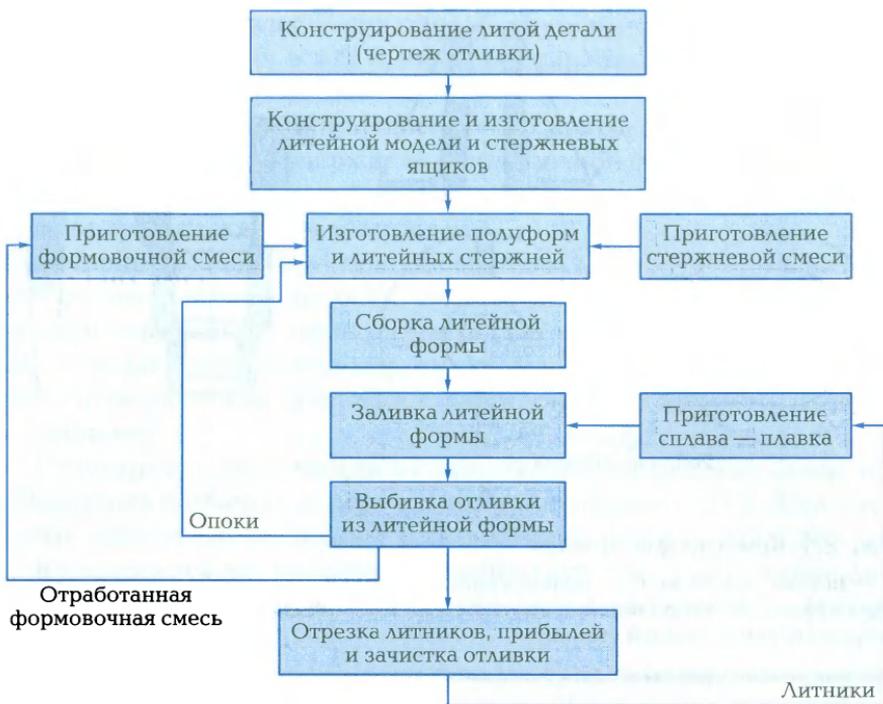


Рис. 2.2. Схема технологического процесса литья в песчаные формы

галтелей и т. д., суммарное отличие которых от наружных размеров отливки обозначим  $z_{н'}$ , мм, а от внутренних размеров —  $z_{вн'}$ , мм. Будем считать их суммарными припусками. Таким образом, для наружных размеров отливки

$$l_{отл} = l_{дет} + z_{н'}$$

для внутренних размеров

$$L_{отл} = L_{дет} - z_{вн'}$$

где  $l_{отл}$ ,  $L_{отл}$  — соответственно наружные и внутренние размеры отливки;  $l_{дет}$ ,  $L_{дет}$  — соответственно наружные и внутренние размеры литой детали, мм.

Конструкция отливки, имеющей наружные и внутренние поверхности, представлена на рис. 2.3, а.

По чертежу отливки делают *чертеж модели*. Нужно иметь в виду, что после литья имеют место три вида линейной, объемной усадки: *свободная; затрунненная; смешанная*.

Размеры модели отличаются от размеров отливки на величину усадки. Напишем формулу для наружного размера модели  $l_{\text{мод}}$ , мм, понимая, что и для размеров  $L_{\text{мод}}$  и  $d_{\text{мод}}$  структура формул будет такой же. Итак,

$$l_{\text{мод}} = l_{\text{отл}} + k \frac{l_{\text{отл}} K_{\text{лин}}}{100},$$

где  $k$  — коэффициент, учитывающий вид усадки сплава (при свободной усадке  $k = k_{\text{св}} = 1$ ; при затрудненной усадке  $k = k_{\text{затр}} < 1$ ; при смешанной усадке  $k = k_{\text{смеш}} < 1$ , причем  $k_{\text{затр}} < k_{\text{смеш}}$ );  $K_{\text{лин}}$  — коэффициент линейной усадки заливаемого сплава.

На рис. 2.3, б показана модель, с помощью которой в песчаной форме изготавливают рабочую полость, оформляющую наружную поверхность отливки (см. рис. 2.3, а). Эту модель делают из двух половинок, соединяемых по плоскости разъема с помощью направляющих штырей. В мелкосерийном производстве применяют деревянные модели; в крупносерийном и массовом — чугунные или силуминовые (или пластмассовые). Модель (см. рис. 2.3, б) имеет знаки — *знаковые части* (опорные поверхности для литейных стержней). В знаках модели при формовке образуют углубления, в которых закрепляют литейные стержни. Литейные стержни (рис. 2.3, в), образующие внутреннюю полость отливки, изготавливают в деревянных или металлических стержневых ящиках, сделанных из двух половинок (рис. 2.3, г). Для закрепления в литейной форме стержни имеют знаки конической формы.

Размеры стержневых ящичков, как и размеры моделей, больше размеров отливки на величину усадки и припусков. Для стержней, а значит, и для стержневых ящичков речь идет о свободной усадке. Поэтому размер стержневого ящичка, мм,

$$l_{\text{ст.я}} = l_{\text{отл}} + k_{\text{затр}} \frac{l_{\text{отл}} K_{\text{лин}}}{100}.$$

По моделям отливки и литниковой системы с установкой стержня (для отливки, представленной на рис. 2.3, а) изготавливают верхнюю и нижнюю литейные полуформы (вручную или на формовочных машинах, на которых землю уплотняют прессованием или встряхиванием).

На рис. 2.3, г показана собранная литейная форма перед заливкой. В форме с помощью моделей элементов литниково-питающей системы проложены ее каналы. Для вентиляции литейной фор-

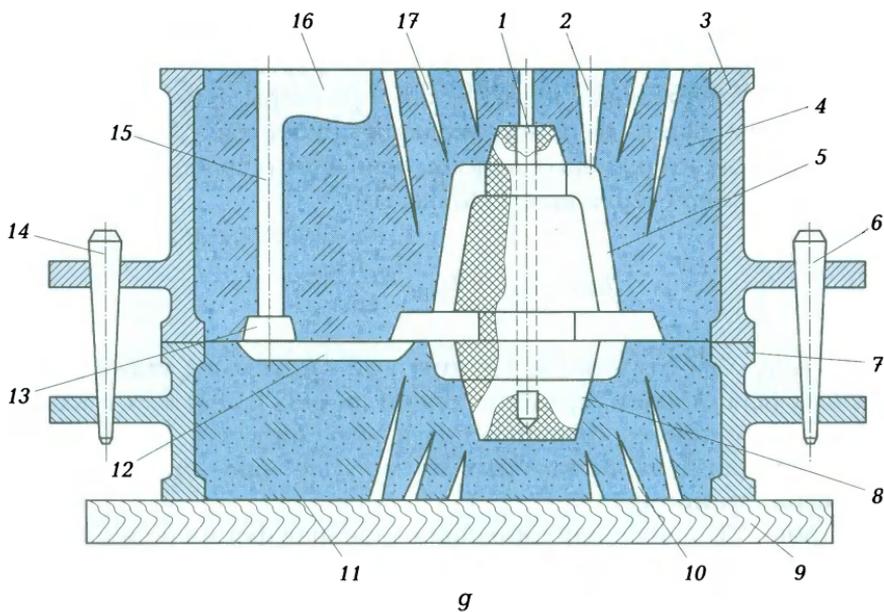
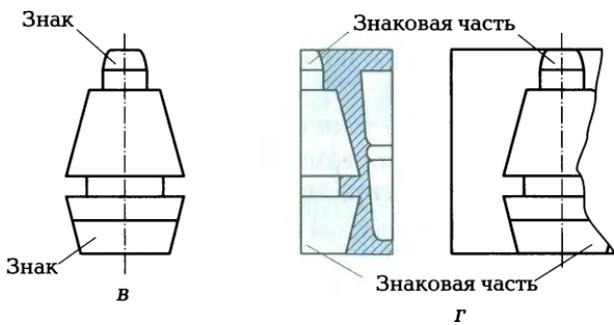
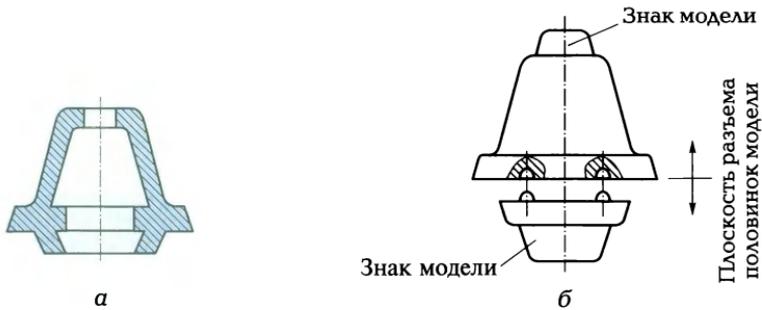


Рис. 2.3. Отливка (а), модель (б), стержень (в), половинка стержневого ящика (г) и литейная форма (д):

1 — канал для отвода газов; 2 — выпор; 3 и 7 — верхняя и нижняя литейные опоки; 4 и 11 — формовочная смесь; 5 — рабочая полость литейной формы; 6 и 14 — штыри; 8 — литейный стержень; 9 — деревянное основание; 10 и 17 — вентиляционные наколы; 12 — питатель; 13 — шлакоуловитель; 15 — стояк; 16 — чаша

---

мы в ее верхней и нижней половинках делают наколы 10 и 17, а в стержне — специальный вентиляционный канал-газоотвод 1.

Литейная форма состоит из двух полуформ, изготовленных по литейным моделям в нижней 7 и верхней 3 литейных опоках, в которых после уплотнения формовочной смеси 4 и 11 проложены каналы литниковой системы, через которые при заливке жидкого сплава будут созданы наружные поверхности отливки. Внутренние поверхности отливки оформляют при помощи литейного стержня 8. Перед сборкой литейной формы из двух полуформ стержень 8 устанавливают знаком в углубление в формовочной смеси 11 на нижней половине формы. Сборку из двух полуформ фиксируют при помощи штырей 6 и 14, и в литейной форме образуется ее рабочая полость 5, в которой будет оформляться отливка.

Литниковая система состоит из следующих элементов: чаши 16, стояка 15, шлакоуловителя 13, питателя 12 (эта часть литниковой системы предназначена для подвода расплавленного металла в рабочую полость и ее заполнения), и выпора 2 (вертикального канала в верхней части литейной формы). Выпор выпускает воздух и газы при заливке расплава и обеспечивает контроль заполнения рабочей полости 5 литейной формы. Также через выпор питают отливку расплавом при ее затвердевании.

После полного затвердевания материала в отливке ее выбивают из литейной песчаной формы на выбивных установках (вибраторах и др.). Выбивку формовочной смеси и стержней из отливок проводят вручную или на выбивных установках. После выбивки отливки из формы от отливки отделяют элементы литниковой системы, очищают отливку от пригоревшего и приставшего формовочного материала и осуществляют контроль качества литья. Для очистки применяют барабаны механического действия, пескоструйные и дробеструйные аппараты, песко-гидравлический способ и др.

Оболочковые формы, как и песчано-глинистые, — разовые. Однако в отличие от песчано-глинистых форм для изготовления тонких оболочковых форм требуется в 20–30 раз меньше формовочных материалов. Оболочковые формы обладают хорошей газопроницаемостью и изготавливают из мелкозернистого песка, благодаря чему повышается качество поверхности отливок.

Литье в оболочковые формы применяют как для стальных отливок, так и для отливок (плит, кронштейнов, рычагов и др.) из алюминиевых сплавов. Эти отливки имеют простую конфигурацию без полостей. Шероховатость поверхностей отливок находится в пределах  $Rz\ 40 \dots 80$  мкм, а точность размеров отливки достигает 14-го качества.

Формовочная смесь для оболочек состоит из мелкозернистого песка и терморезистивной смолы — пульвербакелита (смесь порошка феноло-формальдегидной смолы с уротропином), являющегося связующим.

Для цветного литья используют смесь с добавкой 3...4 % пульвербакелита, а для стального литья — 7...8 %.

Процесс изготовления оболочковых форм легко поддается механизации. Существуют два способа изготовления оболочковых форм:

- бункерный;
- прессование оболочек под давлением потока воздуха через резиновую диафрагму.

**Бункерный способ.** При бункерном способе (рис. 2.4) нагретая до  $200\ ^\circ\text{C}$  и смазанная разделительным составом модель 1 устанавливается на крышке 2, которая скобами 3 закрепляется на бункере 4 (I позиция), и бункер поворачивается на  $180^\circ$  (II позиция). Формовочная смесь 5 попадает на нагретую модель. Пульвербакелит расплавляется и склеивает песчинки, образуя «сырую» оболочковую форму 6. Толщина оболочковой формы зависит от времени выдержки смеси на модели. В течение 15...20 с образуется оболочковая форма толщиной 8...2 мм. Через 15...20 с бункер возвращается в первоначальное положение (III позиция), сухая формовочная смесь ссыпается вниз, а модель вместе с оболочковой формой помещают на 2...3 мин в электропечь, где при температуре  $250 \dots 300\ ^\circ\text{C}$  происходит окончательное затвердевание пульвербакелита.

**Способ прессования оболочковых форм под давлением потока воздуха через резиновую диафрагму.** Прочность оболочковых форм

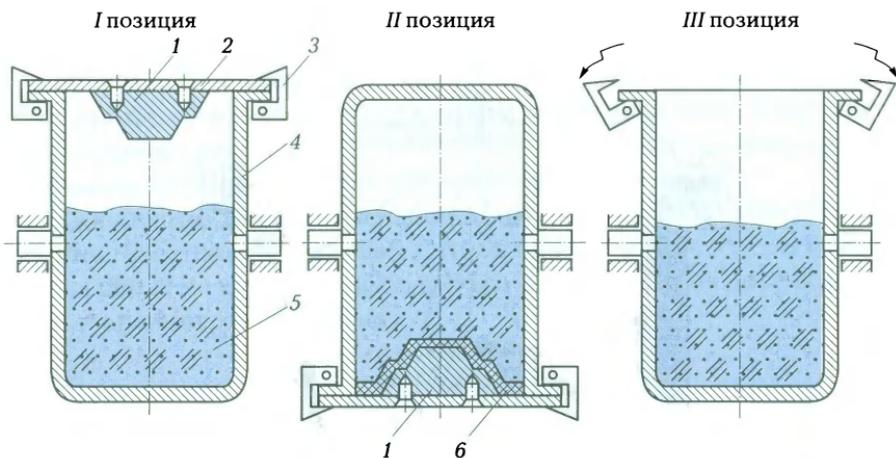


Рис. 2.4. Бункерный способ изготовления оболочковых полуформ:

1 — модель; 2 — крышка; 3 — зажим-скоба; 4 — бункер; 5 — формовочная смесь; 6 — «сырая» оболочковая форма

повышается при спекании их под давлением. Давление на формовочную смесь осуществляют через резиновую диафрагму сжатым воздухом (0,15...0,2 МПа).

На рис. 2.5 показана установка для прессования оболочковых полуформ с протяжкой модели. Окончательное затвердевание оболочковых полуформ происходит на модели в течение 3...5 мин. Прессование оболочковых полуформ особенно рентабельно в мелкосерийном производстве, так как этот процесс довольно просто механизировать.

Для мелкосерийного производства используют деревянные модели. В этом случае пудвербакелит заменяют крепителем МФ-2, который спекается при температуре 160...180 °С.

Размеры деревянных моделей рассчитывают так же, как и при литье в землю. Размеры стальных моделей определяют с учетом расширения моделей, работающих в диапазоне температур 150...300 °С. Размер нагретой модели  $l_{\text{мод}}^*$  мм, определяют по следующей формуле:

$$l_{\text{мод}}^* = l_{\text{мод}}(1 + \alpha t),$$

где  $l_{\text{мод}}$  — расчетный размер модели при комнатной температуре, мм;  $\alpha$  — температурный коэффициент линейного расширения модели, °С<sup>-1</sup>;  $t$  — температура нагрева модели, °С.

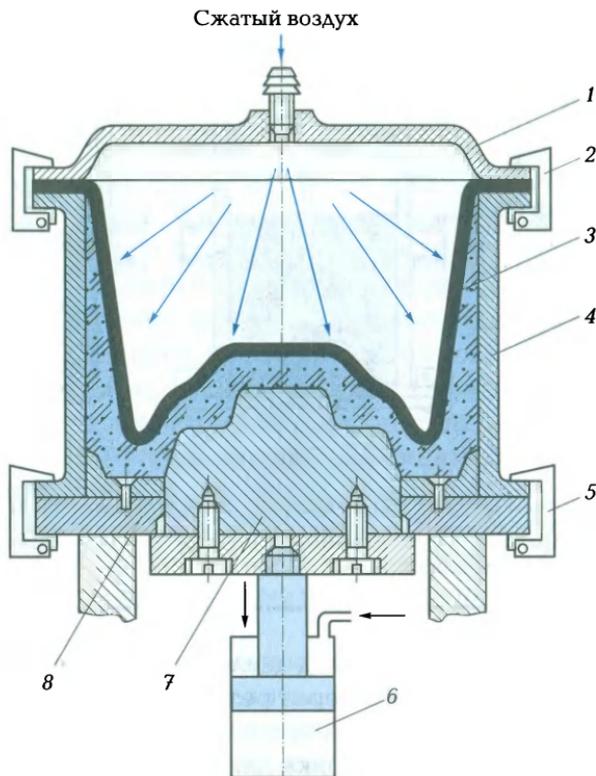


Рис. 2.5. Установка для прессования оболочковых полуформ с протяжкой модели через резиновую диафрагму:

1 — крышка; 2 — зажим крышки; 3 — резиновая диафрагма; 4 — опока; 5 — зажим опоки; 6 — пневматический привод протяжки модели; 7 — модель; 8 — под-модельная плита

Следовательно, расчетный размер модели

$$l_{\text{мод}} = \frac{l_{\text{отл}} + \frac{l_{\text{отл}} K}{100}}{1 + \alpha t},$$

где  $K$  — коэффициент усадки заливаемого в оболочковую форму сплава, %.

Оболочковые полуформы склеивают клеем БФ-2 в нагретом состоянии и зажимают перед заливкой пневматическими зажимами с резиновыми амортизаторами. Крупные оболочковые формы перед заливкой устанавливают в металлические опоки и засыпают дробью.

Полученную оболочковую форму заливают сплавом в вертикальном или горизонтальном положениях через литниковую систему.

При освобождении отливки оболочковую форму из песчано-смоляной смеси после затвердевания материала легко разрушить.

В промышленность внедрены многопозиционные карусельные автоматы для изготовления оболочковых форм.

Для автомобилей, тракторов и других сельскохозяйственных машин, изготавливают отливки с толщиной стенки 3... 15 мм и весом 2,5... 1 000 Н из чугуна (углеродистых сталей, сплавов других металлов) в оболочковых формах.

## 2.4. ЛИТЬЕ ПО ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ И ВЫЖИГАЕМЫМ МОДЕЛЯМ

---

Литье по выплавляемым и выжигаемым моделям широко применяют в промышленности для изготовления фасонных отливок сложной конфигурации массой от нескольких граммов до нескольких килограммов (весом от нескольких десятков сантиньютонов до нескольких десятков ньютон) с толщиной стенок 0,3... 20 мм и более с высокой точностью размеров до 12-го качества при шероховатости поверхности до  $Rz$  80 мкм. Это часто позволяет использовать отливки как готовые детали без механической обработки.

Практически этим способом можно получить отливки из любых литейных сплавов. Технологический процесс литья по выплавляемым моделям (рис. 2.6) заключается в изготовлении литейной модели из легкоплавкого состава (парафина, стеарина), которая покрывается тонкой керамической оболочкой. Впоследствии модель удаляют (выжигают, испаряют или выплавляют), а полость оболочки заливают расплавленным металлом.

**Пресс-формы для изготовления моделей.** К пресс-формам предъявляют следующие требования: размеры рабочих поверхностей, оформляющих модель, должны быть на 1 – 2 качества выше требуемой точности отливки, а шероховатость их поверхностей в 1,5 – 2 раза меньше шероховатости поверхности отливки; пресс-формы должны иметь минимальное количество разъемов, модели должны легко удаляться, пресс-форма должна быть проста и удобна в работе. Конструкция пресс-форм зависит от характера производства отливок. Для единичного и опытного производства применяют пресс-формы с ручным разъемом и выталкиванием.

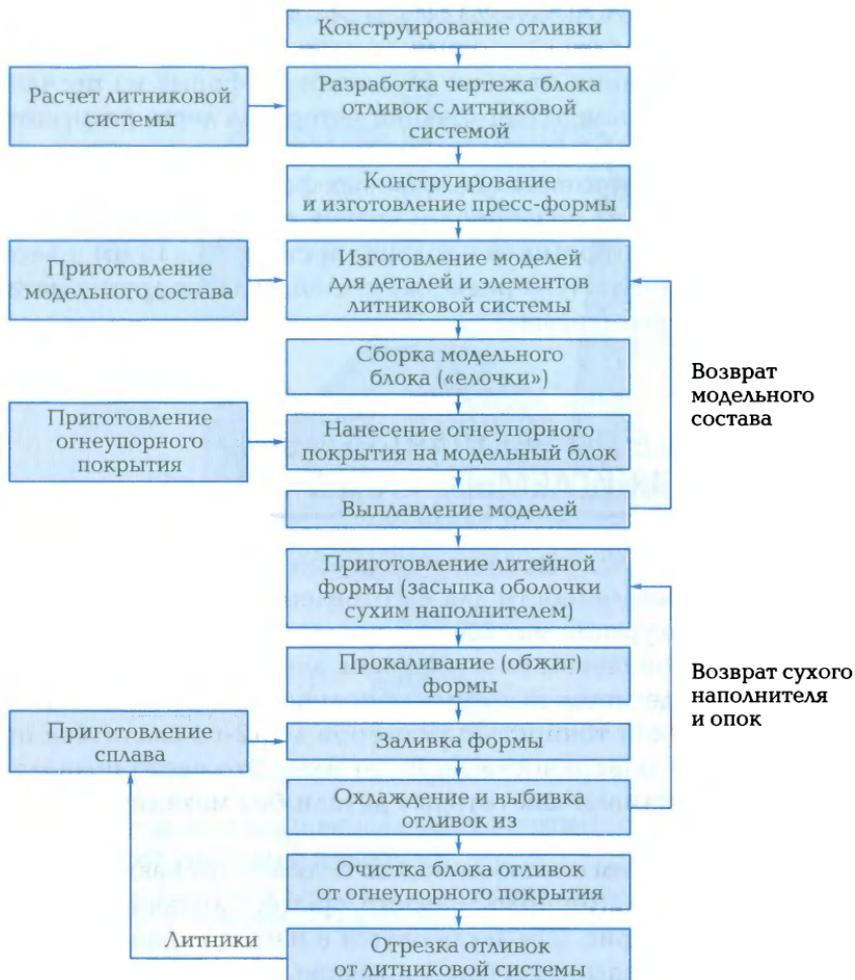


Рис. 2.6. Схема технологического процесса литья по выплавляемым моделям

На рис. 2.7, а показана металлическая одногнездная пресс-форма для изготовления единичной литейной модели (рис. 2.7, б) с ручным удалением литейных стержней и модели. При сборке пресс-формы на матрицу 4 (см. рис. 2.7, а) устанавливают пробку 3, крышку 6 (которую закрепляют скобами 2) и пуансон 1. Через литниковую систему 7 под давлением 0,2...0,3 МПа в рабочую полость пресс-формы заливают легкоплавкий состав, после затвердевания которого пресс-форму разбирают и через отверстие, из которого извлекают

пробку 3, полученную легкоплавкую модель 5 выталкивают из матрицы 4.

Разработан метод изготовления деревянных пресс-форм. Для крупносерийного и массового производства конструируют многоместные металлические пресс-формы, которые закрепляют на поворотных столах. Чаще всего в таких пресс-формах изготавливают не единичную модель, а звено модельного блока вместе с элементами литниково-питающей системы (рис. 2.7, в). Число гнезд зависит от серийности производства и от конструкции модельного блока («елочки»).

Формообразующие детали пресс-форм изготавливают из качественных конструкционных сталей марок 30, 35, 40 и 45. Вспомогательные цилиндрические детали (стержни, фиксаторы, толкатели и др.) делают из углеродистых инструментальных сталей обычного или повышенного качества.

Поверхность многогнездных пресс-форм подвергают цементации, закалке до твердости 50 HRC и хромированию.

На рис. 2.7, г показана типовая 4-гнездная пресс-форма для изготовления звена модельного блока.

Технологический процесс изготовления легкоплавких моделей в таких пресс-формах следующий: в закрытую пресс-форму через чашу литниковой системы 5 в рабочую полость 3 запрессовывают модельный состав (затем канал литниковой системы 5 перекрывают пастоперекрывателем 4); после этого происходит охлаждение состава и его затвердевание; при помощи рычага 8 поднимается вверх плита 11; закрепленные на плите 11 толкатели 10 поднимают откидную крышку 2, которая поворачивается вокруг оси 1 и открывает рабочую полость 3 с моделью; затем плите 11 от рычага 8 сообщается дальнейшее движение вверх до упора в плиту 9, которая также поднимается вверх, и закрепленные на ней трубчатые толкатели 13 извлекают полученную модель из рабочей полости 3, после чего модель удаляют вручную или механически (автоматически) в тару; рабочую полость 3 очищают и смазывают; поворачивая крышку 2 вокруг оси 1, закрывают пресс-форму, и цикл повторяется.

Размеры рабочей полости пресс-форм отличаются от размеров будущей отливки на величину суммарной усадки с учетом допусков на размер отливки и на изготовление пресс-формы.

Сборку моделей в блоки осуществляют путем соединения моделей, питателей и стояков нагретым ножом. Литниково-питающие системы должны обеспечивать хорошее заполнение формы. На характер заполнения влияют величина и расположение основного канала, подводящего расплавленный металл в полость формы.

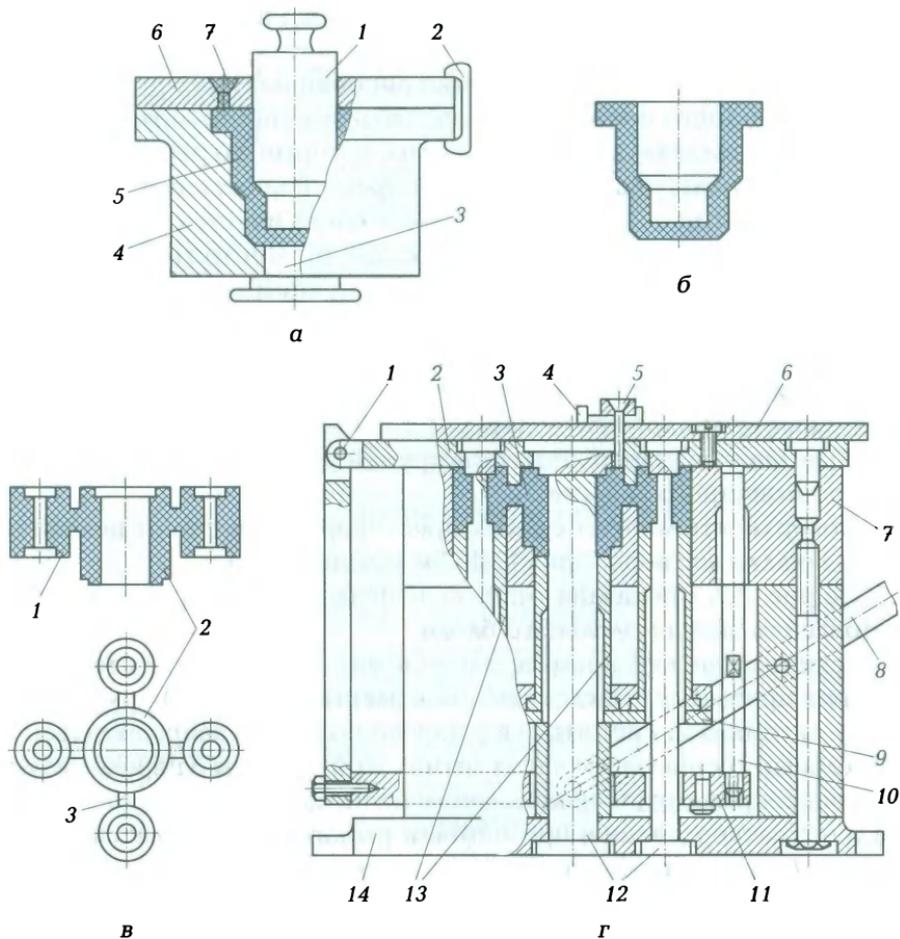


Рис. 2.7. Единичная литейная модель, звено модельного блока и металлические пресс-формы для их изготовления:

*а* — пресс-форма с ручным удалением стержней и модели: 1 — пуансон; 2 — скоба; 3 — пробка; 4 — матрица; 5 — легкоплавкая модель; 6 — крышка; 7 — литниковая система; *б* — единичная модель; *в* — звено модельного блока: 1 — модель отливки; 2 — кольцо стояка; 3 — питатель; *г* — пресс-форма для изготовления звена модельного блока: 1 — ось; 2 — откидная крышка; 3 — рабочая полость; 4 — пастоперекрывагель; 5 — литниковая система; 6, 9, 11 и 14 — плиты; 7 — матрица; 8 — рычаг; 10 — толкатели крышки; 12 — стержни; 13 — толкатели модельного блока

Обычно металл подводят к наиболее толстым частям отливки. При этом есть четыре способа питания отливки: *сверху* — дождевая заливка (рис. 2.8, *а*), *снизу* — сифонная заливка (рис. 2.8, *б*), *сбоку* (рис. 2.8, *в*) и *комбинированная заливка* — *сверху и снизу* (рис. 2.8, *г*).

Лучшее качество литья обеспечивается заливкой снизу или комбинированной заливкой, при которой создается дополнительное давление столба жидкого металла, так называемое «ферростатическое» давление.

По расположению на модельном блоке модели подразделяют на три типа:

тип I (рис. 2.8, г) — модели соединяют питателем непосредственно со стояком 3 (применяют для отливок средних размеров);

тип II (рис. 2.8, е) — модели присоединяют питателями к кольцевому коллектору 6 (применяют для небольших отливок);

тип III (рис. 2.8, ж) — крупную модель, имеющую утолщение  $\delta$ , питают комбинированным способом, верхнюю утолщенную часть питают от прибыли 7. Расположение литниково-питающей системы и моделей влияет на точность литых деталей. Узкие и длинные модели следует располагать на модельном блоке вертикально, а не горизонтально, так как при горизонтальном расположении во время хранения модели могут прогибаться под действием силы тяжести.

**Изготовление моделей и модельных блоков.** Основные компоненты выплавляемых модельных составов — это парафин и стеарин. Для повышения прочности и теплостойкости в модельные составы добавляют этилцеллюлозу, буроугольный воск, полиэтилен и другие материалы.

Наиболее часто употребляют такие модельные составы:

ПС-50-50 (50 % парафина, 50 % стеарина, температура запрессовки 42... 43 °С); ПС-70-30 (70 % парафина, 30 % стеарина, температура запрессовки 42... 45 °С) применяется для неответственных изделий; ППэ-85-15 (15 % полиэтилена, остальное парафин, температура запрессовки 58... 60 °С).

Для уменьшения усадки рекомендуется запрессовывать модельный состав в пастообразном состоянии. Если при температуре плавления (около 50 °С) усадка составляет 2... 2,5 %, то при снижении температуры запрессовки до 43 °С усадка уменьшается до 0,8 %.

Процесс изготовления выплавляемых моделей состоит из очистки и смазки пресс-формы; запрессовки модельного состава под давлением 0,2... 0,3 МПа; охлаждения моделей до 15... 18 °С (деревянные пресс-формы замораживают в холодильнике до температуры -10 °С).

**Изготовление и заливка литейной формы.** Формовочная смесь для оболочки представляет собой жидкую сметанообразную суспензию, состоящую из связующего раствора и пылевидного кварцевого песка — маршаллита. Формовочную смесь наносят

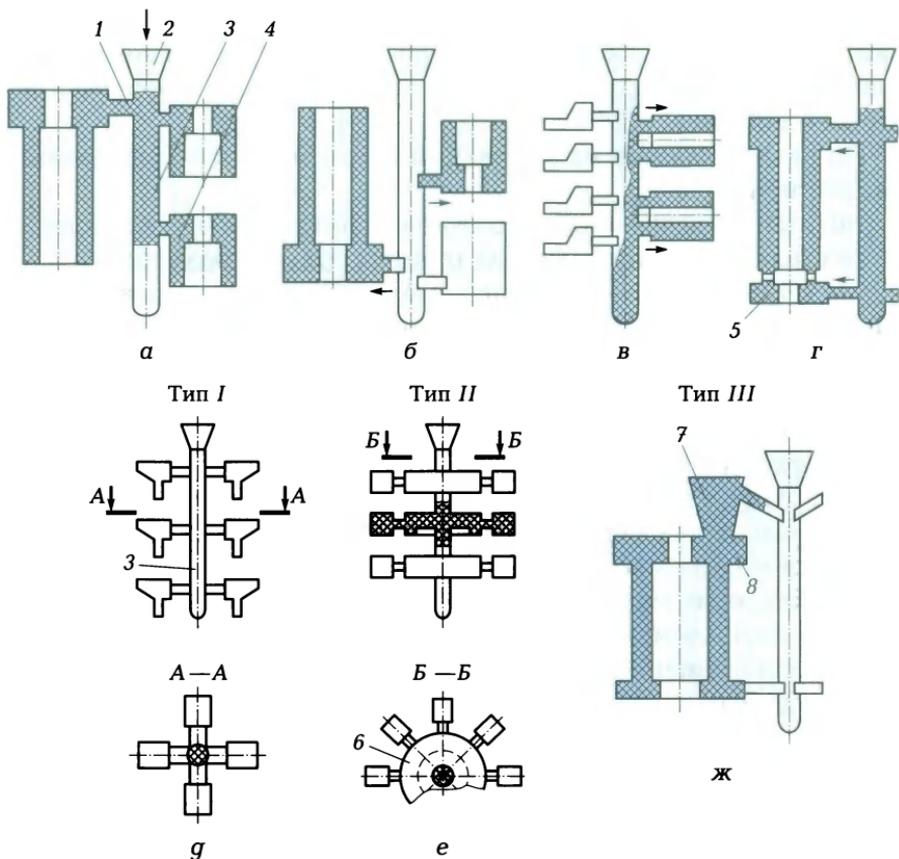


Рис. 2.8. Типы литниково-питающих систем (а—г) и модельных блоков (д—ж):

1 — питатель; 2 — литниковая чаша; 3 — стояк; 4 — модель отливки; 5 — кольцевой коллектор; 6 — питающий коллектор; 7 — прибыль; 8 — утолщение

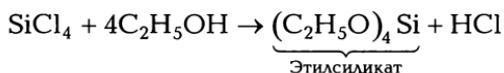
на поверхность модельного блока (рис. 2.9, а и б) путем окунания его в суспензию. Затем на слой суспензии наносят крупнозернистый песок, который фиксирует суспензию на модели и не дает ей стекать. Кроме того, песок утолщает оболочку, делает ее более газопроницаемой.

Свеженанесенный слой не обладает прочностью и удерживается на поверхности модели только благодаря смачиванию. В процессе сушки одновременно с испарением влаги происходит необратимый процесс перехода коллоидного связующего раствора из жидкого состояния в твердое, из золя в гель.

На модель наносят 3–5 слоев (после сушки каждого слоя) при средней толщине одного слоя 1 мм.

В качестве связующих материалов применяют растворы, приготовленные на основе этилсиликата или жидкого стекла.

Этилсиликат получают при соединении этилового спирта с четыреххлористым кремнием:



Гидролиз этилсиликата происходит при активном перемешивании в специальных пропеллерных смесителях:



В гидролизованный раствор этилсиликата добавляют маршаллит до оптимальной густоты.

Жидкое стекло служит дешевым заменителем этилсиликата. В обычном виде состав жидкого стекла выражается формулой  $\text{Me}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$ , где в качестве  $\text{Me}_2\text{O}$  может использоваться  $\text{Na}_2\text{O}$  или  $\text{K}_2\text{O}$ .

Жидкое стекло представляет собой коллоидный раствор, в котором  $\text{SiO}_2$  находится в виде золя так же, как и в этилсиликате.

Превращение золя в гель значительно ускоряется при химическом твердении жидкого стекла в аммиачной среде:

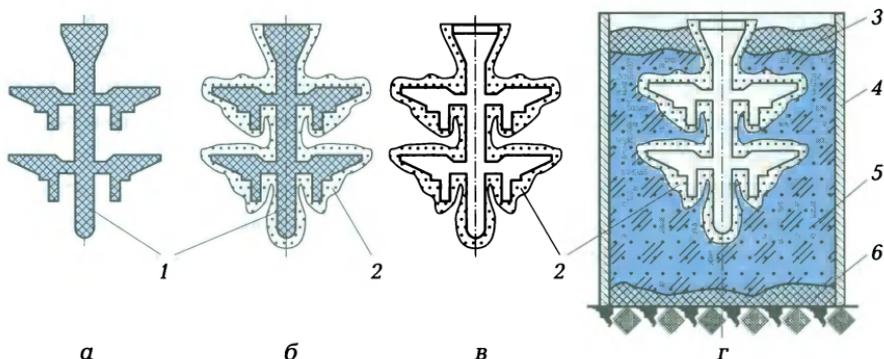
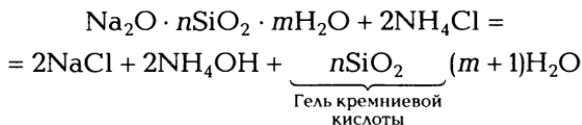


Рис. 2.9. Изготовление литейной формы:

*a* — модельный блок; *б* — модельный блок и оболочка; *в* — оболочка после выплавления модельного блока; *г* — литейная форма: 1 — модельный блок; 2 — оболочка; 3 и 6 — глина; 4 — опока; 5 — наполнитель



Наиболее качественные оболочки, и следовательно, отливки получают при использовании этилсиликата. В целях экономии дефицитного и дорогостоящего этилсиликата применяют комбинированные покрытия. Для основного слоя суспензия состоит из гидролизованного раствора этилсиликата (его массовая доля равна 30... 40 %) и маршаллита (70... 60 %), а для упрочняющих слоев — из жидкого стекла (35... 45 %) и маршаллита (65... 55 %).

*Выплавление моделей* может осуществляться в горячей воде, горячим воздухом, перегретым водяным паром. Наиболее распространен способ выплавления в горячей воде. После выплавления керамические оболочки необходимо прокалить для удаления из пор остатков модельного состава и влаги. Кроме того, в процессе прокаливания оболочка нагревается до 1 000 °С, что повышает заполняемость тонких сечений формы.

Перед прокаливанием оболочку заформовывают, т. е. засыпают в ящичке-опоке наполнителем. В качестве наполнителя применяют смесь из 50 % песка и 50 % шамотной крошки.

Полученную форму заливают расплавленным сплавом либо из ковша, либо под действием центробежных сил, либо под низким давлением (последний способ будет подробнее рассмотрен при ознакомлении с литьем в кокиль).

В промышленности начали применять следующие способы получения точных отливок: литье по выжигаемым, растворяемым, размораживаемым и по газифицируемым моделям. Наиболее перспективен из них способ с применением моделей из пенопласта (пенополистирола) или, как его называют, литье по газифицируемым моделям.

Особенность литья по пенопластовым моделям — применение неразъемных форм, из которых модель не извлекается, а газифицируется за счет теплоты расплавленного металла. Таким способом получают отливки массой от 0,2 кг до нескольких тонн из стали, чугуна, медных и алюминиевых сплавов в единичном и серийном производстве.

Пенополистирол, из которого изготавливают модель, имеет малую плотность, разлагается при 300... 350 °С, выделяя пары стирола, легко обрабатывается даже простым ножом и разогретой проволокой.

Пенопластовую модель формируют в опоке обычным способом. Формовочную смесь чаще уплотняют на встряхивающих и вибрационных станках.

После изготовления форму заливают сплавом, при этом модель, которая осталась в форме, газифицируется, и газы удаляются в выпоры, а место, где находилась модель, заполняют сплавом для образования отливки.

Применяют и другие способы изготовления отливок с помощью модели из пенопласта. После изготовления формы пенопластовую модель удаляют ее растворением, прокаливанием формы, электроплавкой, продувкой формы горячими газами. Форму заливают после удаления модели. Пенопластовые модели применяют также вместо выплавляемых моделей.

## 2.5. ЛИТЬЕ В КОКИЛЬ

Литье в кокиль — процесс получения фасонных отливок либо путем свободной заливки, либо заливки под низким давлением расплавленного металла в металлическую многократно используемую форму (кокиль).

В отечественной промышленности в кокилях получают 45 % всех алюминиевых и магниевых отливок, 6 % стальных отливок, 11 % чугунных отливок.

Шероховатость поверхности отливок соответствует  $Rz\ 80$  мкм при точности размеров до 12-го качества. Если кокиль изготовлен из стали марок 25 — 35, то при литье алюминиевых сплавов стойкость кокиля составляет 75 тыс. отливок, а при литье магниевых сплавов — 50 тыс. отливок.

**Кокили.** Для равномерного охлаждения отливки кокиль должен иметь высокую теплопроводность и не очень толстые стенки равномерной толщины. Их толщина  $\delta_{\text{кок}}$ , мм, зависит от средней толщины стенки отливки  $\delta_{\text{отл}}$  и определяется по эмпирическому выражению:

$$\delta_{\text{кок}} = 13 + 0,6\delta_{\text{отл}}.$$

В зависимости от конфигурации отливки кокили изготавливают с одним или несколькими разъемами. Плоскости разъема кокиля могут быть вертикальными, горизонтальными или комбинированными. Кокили могут быть неразъемными.

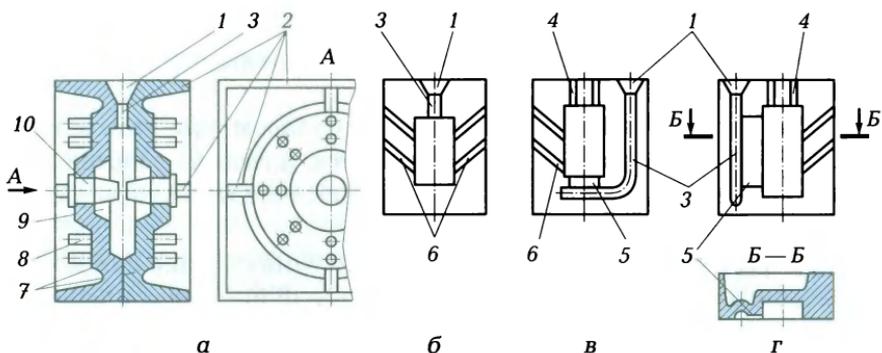


Рис. 2.10. Двухстворчатый кокиль (а) и схемы заливки кокилей (б–г):

1 — чаша; 2 — ребра жесткости; 3 — стояк; 4 — газоотводные каналы (прибыли); 5 — питатели; 6 — воздухоотводные каналы; 7 — створки; 8 — пальцы; 9 — рабочая полость; 10 — металлические стержни

На рис. 2.10 показана конструкция двухстворчатого кокиля, имеющего одну вертикальную плоскость разъема. Для предохранения от коробления обе створки кокиля снабжены ребрами жесткости 2. Отверстия в отливках оформляют металлическими 10 (как показано на рис. 2.10, а) или песчаными стержнями. Литниковая система (чаша 1, стояк 3, газоотводные каналы 4, питатели 5) располагается в плоскости разъема кокиля. Пальцы 8 предназначены для регулирования теплообмена в кокиле. Ввинчивая эти пальцы в створки кокиля или вывинчивая их, можно увеличивать или уменьшать площадь соприкосновения створок кокиля с атмосферой и таким образом увеличивать или уменьшать скорость охлаждения жидкого сплава.

На рис. 2.10, б, в, г показаны схемы заливки сплава в полости формы: сверху, снизу, сбоку. Для удаления воздуха и газов из рабочей полости 9 кокиля на плоскости разъема прорезаются вентиляционные воздухоотводные каналы 6 толщиной 0,2...0,3 мм. В массовом производстве закрытие, открытие кокиля, выталкивание отливок осуществляют автоматически, для чего применяют специальные станки. На рис. 2.11, а показан кокильный станок с пневматическим приводом 4 для форм с вертикальной плоскостью разъема. Для выталкивания отливок станок имеет цилиндрические толкатели 2, закрепленные в неподвижных плитах 3. Между плитой 3 и подвижной половинкой кокиля установлены пружины 1 для амортизации.

Для повышения стойкости кокилей рабочую поверхность через каждые 50–100 отливок покрывают тонким слоем огнеупорной облицовки, в которую входят огнеупорные (кварцевая мука, молотый шамот, графит и др.) и связующие материалы (жидкое стекло, суль-

фитный шлоко и др.). Кроме облицовки перед заливкой рабочую поверхность кокиля следует смазывать тонким слоем меловой краски, которая при соприкосновении с заливаемым жидким сплавом сгорает и образует газовую оболочку вокруг отливки, предотвращая ее прилипание к стенке кокиля.

**Литье в кокиль под низким давлением.** На рис. 2.11, б дана схема установки для заполнения кокилей под низким давлением. Расплавленный металл заливают в тигель 3, который обогревают электрическими элементами (спиралью) 4. Крышку тигля герметически закрывают и на поверхность металла подают сжатый газ. Расплавленный металл поднимается по металлопроводу 2 в полость кокиля 1. Избыточное давление в пределах 0,02...0,08 МПа создает сжатый воздух, подаваемый от компрессора.

Отливки под низким давлением получают в кокилях, песчаных и оболочковых формах и формах для литья по выплавляемым моделям. Этот способ литья значительно сокращает расход металла на литники, улучшает заполняемость форм, повышает плотность и герметичность отливки, повышает качество ее поверхностей. В результате форма отливки и ее размеры точнее соответствуют форме и размерам готовой детали, т.е. можно уменьшить или исключить механическую обработку этих отливок. Литьем под низким давлением изготавливают тонкостенные отливки корпусного типа из алюминиевых, магниевых, медных сплавов и реже из стали весом от нескольких ньютонов до 500 Н.

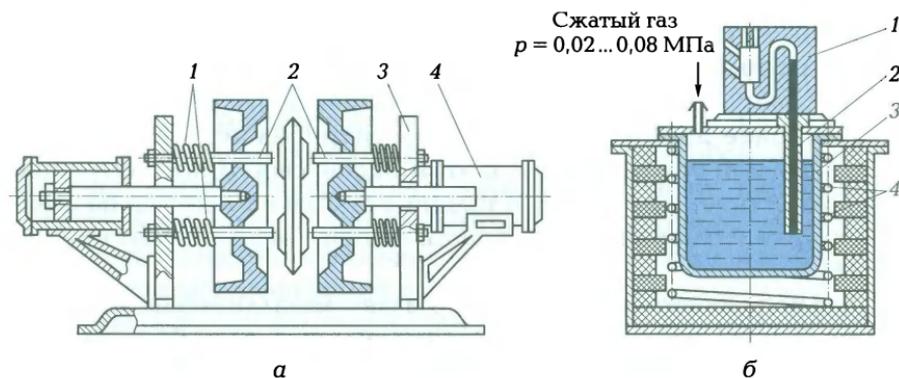


Рис. 2.11. Схемы кокильного станка и установки для заполнения кокилей: а — кокильный станок с пневматическим приводом: 1 — пружины; 2 — толкатели; 3 — плита; 4 — пневматический привод; б — установка для литья под низким давлением: 1 — кокиль; 2 — металлопровод; 3 — тигель; 4 — электронагреватель

## 2.6. ЦЕНТРОБЕЖНОЕ ЛИТЬЕ

*Центробежное литье* — получение отливок во вращающихся металлических литейных формах. Центробежные силы отбрасывают расплавленный металл к стенкам литейной формы, после заполнения формы отливку охлаждают. Этот способ применяют для отливки цилиндрических втулок или труб различного диаметра и с разной толщиной стенок.

Центробежная сила  $P_{ц}$ , Н, определяется следующим выражением:

$$P_{ц} = m r \omega^2,$$

где  $m$  — масса заливаемого сплава, кг;  $r$  — радиус действия центробежной силы, м;  $\omega$  — угловая скорость вращения,  $\omega = \pi n / 30$ ,  $c^{-1}$ ,  $n$  — частота вращения формы, об/мин.

Под действием центробежной силы происходит направленное застывание металла и вытеснение газовой и усадочной пористости. У таких отливок повышена плотность внешнего слоя.

На рис. 2.12, а показана схема машины с горизонтальной осью вращения литейной формы для изготовления длинных труб. Отличительной особенностью этой машины является устройство подвижного желоба 3, который в процессе заливки металла перемещается по роликам 6 с помощью электродвигателя в направлении, показанном стрелкой. При этом металл, стекая с конца желоба, «навивается» на внутреннюю поверхность вращающейся от электродвигателя 7 формы 2, что обеспечивает получение равностенной отливки 1. Жидкий металл 4 попадает на желоб 3 из ковша 5. Форма имеет уклон, равный  $5^\circ$ , что обеспечивает течение металла. Литейная форма беговыми дорожками опирается на приводные ролики 8.

Наиболее просто осуществимо центробежное литье вокруг вертикальной оси вращения. В этом случае свободная внутренняя поверхность — парабола, и толщина стенки изменяется по высоте отливки (толщина верхней части отливки меньше, чем нижней части).

Для центробежных машин изготавливают металлические литейные формы. Иногда металлические формы облицовывают формовочной смесью.

В машинах с вертикальной осью вращения (рис. 2.12, б) металл из ковша 3 заливают в форму 1, укрепленную на шпинделе 5, вращаемом электродвигателем. Металл центробежной силой прижимается к боковой цилиндрической стенке, образуя возле нее жидкий кольцевой слой.

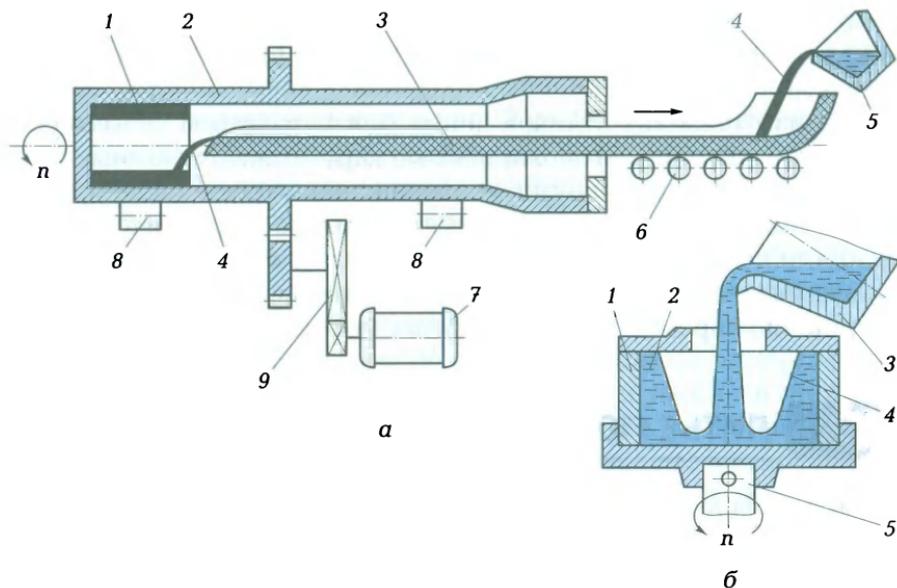


Рис. 2.12. Схемы машин для центробежного литья:

*a* — с горизонтальной осью вращения литейной формы: 1 — начало отливки для длинной трубы; 2 — форма-изложница; 3 — желоб; 4 — жидкий металл; 5 — ковш; 6 и 8 — ролики; 7 — электродвигатель; 9 — редуктор; *б* — с вертикальной осью вращения литейной формы: 1 — форма; 2 — жидкий металл; 3 — ковш; 4 — параболоид; 5 — шпиндель

Форму вращают до полного затвердевания металла, после чего ее останавливают и извлекают отливку. Этим методом получают короткие отливки.

Фасонные отливки можно отливать на машинах и с вертикальной, и с горизонтальной осями вращения. Наружные поверхности отливки оформляются внутренней поверхностью рабочей полости литейной формы. Внутренние поверхности отливок, получаемых центробежным литьем, оформляются за счет центробежных сил, и точность внутренних размеров отливки определяется точностью порции металла, заливаемой в форму.

Точную порцию жидкого сплава можно получить при применении мерных (по объему) ковшей. Но и при центробежном литье песчаные стержни применяют, в частности, для образования торца и внутренней поверхности раструба трубы (см. рис. 2.12, *a*).

*Достоинства* центробежного литья — получение внутренних полостей трубных заготовок без применения стержней; большая экономия сплава за счет отсутствия литниковой системы; возмож-

ность получения двухслойных заготовок, что достигается поочередной заливкой в форму различных сплавов (сталь и чугун, чугун и бронза и т.д.).

Для изготовления отливок центробежным литьем используют автоматические и многопозиционные карусельные машины, в которых всеми технологическими операциями управляет ЭВМ.

Для литья втулок (см. рис. 2.12, б) и других коротких тел вращения используют универсальные машины с переменной осью вращения: в момент заливки ось расположена вертикально, а затем постепенно переводится в горизонтальное положение.

## 2.7. ЛИТЬЕ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Литье под давлением — самый производительный способ изготовления тонкостенных деталей сложной конфигурации.

Технологический процесс литья под давлением заключается в заливке расплавленного металла (под давлением) в камеру сжатия машины с последующей перегонкой его через литниковую систему в рабочую полость литейной формы, где отливка формируется под давлением.

Заполнение полости формы происходит при высокой скорости потока  $v$ , следовательно, при большой кинетической энергии струи  $E = mv^2/2$  ( $m$  — масса потока). При ударе струи о стенку литейной формы кинетическая энергия струи переходит частично в тепловую энергию, повышающую температуру металла. Одновременно создается гидродинамическое давление  $p_{\text{ф}}$  на стенку литейной формы:

$$p_{\text{ф}} = \gamma v^2 / g,$$

где  $\gamma$  — удельный вес, Н/м<sup>3</sup>;  $g$  — ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

Таким образом, высокая скорость потока способствует четкому оформлению внешних поверхностей отливок сложной конфигурации. Скорость впуска при литье под давлением меняется от 0,5 до 120 м/с в зависимости от типа отливки и сплава.

Для преодоления сопротивления затвердевающего металла в литниках и в тонких сечениях отливок применяют высокое конечное давление, достигающее 500 МПа. Современное литье под давлением развивается в трех направлениях:

**литье с низкими скоростями впуска** (создается давление 0,5...2,5 МПа), обеспечивающими сплошное ламинарное запол-

нение; используется при изготовлении толстостенных отливок из алюминиевых сплавов и из латуней, причем сплавы заливают в затвердевающем (кашеобразном) состоянии;

**литье со скоростями впуска от 2 до 15 м/с**, применяемыми для отливок простой конфигурации; при таких скоростях удалить воздушные поры из заполненной литейной формы трудно, пору можно только сжать под действием высокого конечного давления;

**литье со скоростями впуска более 30 м/с**; высокие скорости впуска необходимы для успешного заполнения тонкостенных отливок сложной конфигурации и для получения чистой поверхности.

Поток металла, ударяясь на большой скорости о преграду, разбивается на отдельные капли, образуя дисперсную смесь металла с воздухом, перемещающуюся по направлению к месту впуска.

Чем выше скорость потока в момент удара, тем мельче образующиеся капли металла и тем меньше размеры пор. Как и при турбулентном заполнении, пористость становится неизбежной.

Характер заполнения рабочей полости зависит не только от скорости впуска, но также от соотношения толщин впускного канала и отливки, от вязкости сплава и от условий теплоотдачи в форме.

**Особенности конструирования деталей, отливаемых под давлением.** Кроме общих принципов конструирования литых деталей (см. подразд. 2.2), при конструировании деталей, отливки которых получают литьем под давлением, необходимо учитывать следующие требования: сплав детали должен обладать достаточной прочностью при высоких температурах (чтобы отливка не ломалась при выталкивании), иметь минимальную усадку, обладать высокой жидкотекучестью при небольшом перегреве и иметь небольшой интервал кристаллизации.

Эти требования ограничивают использование ряда литейных сплавов. Наиболее распространено литье под давлением сплавов на основе цинка (ЦАМ 4-1, ЦАМ 4-3 и ЦАМ 5-10), алюминия (АЛ-2, АЛ-4, АЛ-9 и др.), магния (МЛ-5, МЛ-6) и меди (ЛС 59-1Л, ЛК 80-3Л).

Ведутся работы по изготовлению литьем под давлением отливок из чугуна и стали (несмотря на быстрый износ пресс-формы).

Отливки резьбовых деталей при литье под давлением рекомендуется получать с готовой резьбой как наружной, так и внутренней. Минимально допустимые размеры литой резьбы зависят от сплава, из которого изготавливается деталь. Получение литой наружной резьбы возможно при диаметре более 8 мм, а внутренней — не менее 4 мм.

**Качество отливок, получаемых литьем под давлением.** У отливок, получаемых литьем под давлением, как и у других отливок,

качество оценивают точностью размеров, качеством поверхности, механическими свойствами и пористостью.

**Точность размеров** зависит от точности изготовления литейных форм. При изготовлении форм по 7-му качеству отливки могут иметь размеры по 9-му качеству. Размеры, оформляемые в двух половинках литейной формы, получаются по 11 — 12-му качествам.

Неплотное смыкание двух половинок формы приводит к образованию облоя (заусенца — избыточного металла на отливке) по плоскости разъема, причем толщина облоя непостоянна. Поэтому при конструировании отливки следует заранее устанавливать положение плоскости разъема.

**Шероховатость поверхности** отливок зависит от шероховатости оформляющих поверхностей литейной формы и от продолжительности ее эксплуатации.

Рабочая полость литейной формы, обработанная методами полирования или отделочного шлифования, обеспечивает шероховатость поверхности отливок  $Ra$  1,25, а для отливок из цинковых сплавов даже  $Ra$  0,63.

С увеличением числа отливок, изготовленных в одной форме, ее рабочие поверхности изнашиваются, и качество отливок ухудшается.

**Механические свойства** сплавов при литье под давлением значительно отличаются от свойств сплавов, полученных другими способами литья. При быстром охлаждении у отливок образуется литейная корочка с очень мелкозернистой структурой, толщина которой составляет 0,5... 1,0 мм. Поэтому тонкостенные отливки имеют мелкозернистую структуру, повышенную на 20... 30 % прочность и твердость при одновременном снижении на 30... 50 % пластических свойств по сравнению с литьем в землю.

**Пористость**, вскрываемая при механической обработке, становится причиной брака большого числа отливок.

Источники пористости — усадка сплава, газы, выделяющиеся из жидкого металла, и воздух, который захватывается потоком расплава внутрь полости формы.

Для повышения качества отливок необходимо предусматривать изготовление литых отверстий. Величина припусков на механическую обработку не должна превышать 0,5 мм.

**Выбор машин для литья под давлением.** Машина для литья под давлением имеет механизм для открывания и закрывания литейной формы и механизм, запрессовывающий расплавленный металл в рабочую полость формы.

Тип машины характеризуется устройством прессующего механизма. В настоящее время используют машины с передачей давления на металл посредством поршня. Такие машины называют поршневыми. В свою очередь, поршневые машины бывают с горячей либо с холодной камерами прессования.

**Машины с горячей камерой** применяют главным образом для отливки деталей из цинковых сплавов. Камера прессования (давления) таких машин расположена непосредственно в расплавленном металле (рис. 2.13). Металл из раздаточной печи заливается в подогреваемый тигель 3. При работе прессующего цилиндра 1 поршень 8 опускается, перекрывает отверстие 4, через которое расплавленный металл поступает в полость камеры прессования 2. Под давлением поршня металл поднимается по каналу 5 и через мундштук 7 заливается в форму 6.

Машины с горячей камерой имеют гидравлический или пневматический привод, просты по устройству, высокопроизводительны и могут быть полностью автоматизированы.

Поршневые **машины с холодной камерой** прессования не имеют плавильного агрегата. Камера давления не окружена расплавленным металлом и, следовательно, нагревается значительно меньше, чем в машинах с горячей камерой, что позволяет повышать давление на металл до 300...500 МПа. Высокое давление обеспечивает хорошее качество отливок из алюминиевых, магниевых и медных сплавов.

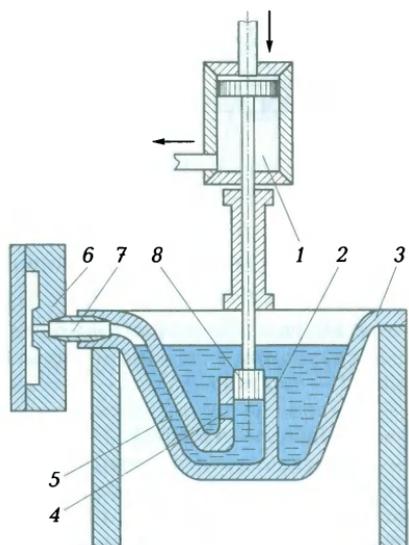


Рис. 2.13. Схема поршневой машины с горячей камерой прессования:

1 — прессующий цилиндр; 2 — камера прессования; 3 — тигель; 4 — отверстие; 5 — канал; 6 — литейная форма; 7 — мундштук; 8 — поршень

В зависимости от расположения камеры прессования такие машины подразделяют на машины с вертикальной и горизонтальной камерой.

Схема действия машины с холодной вертикальной камерой прессования показана на рис. 2.14, а–в (тип I).

После заливки расплавленного металла 2 в камеру прессования 3 (см. рис. 2.14, а) поршень 1 опускается и, надавливая на жидкий металл 2 и пятку 7, открывает литниковое отверстие 8 (см. рис. 2.14, б). Металл заливается в форму. Когда металл затвердевает,

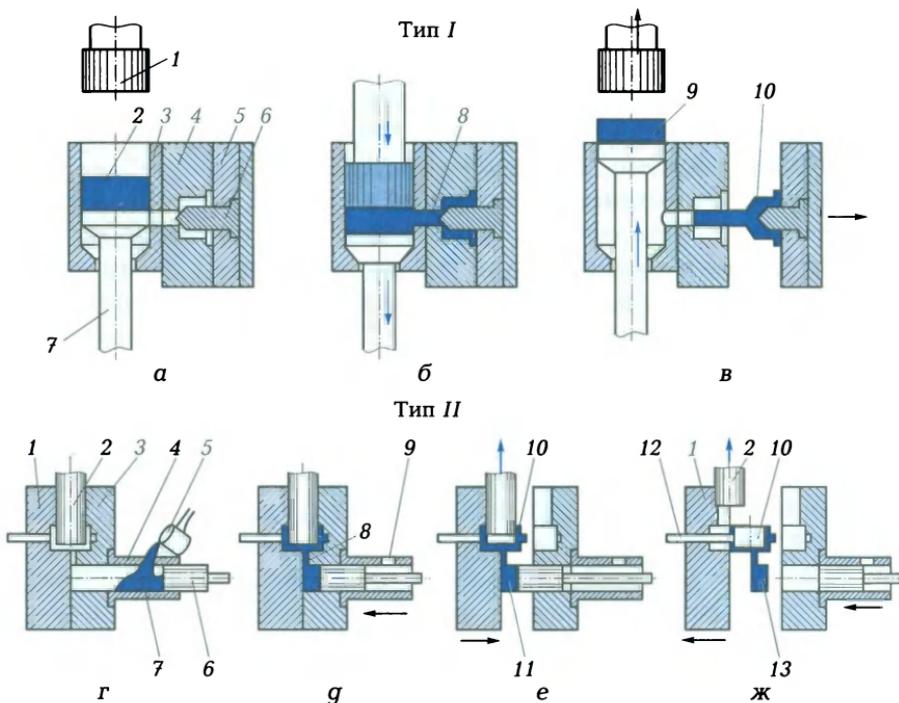


Рис. 2.14. Схемы машин с холодными вертикальной (а–в) и горизонтальной (г–ж) камерами прессования:

а, г — заливка; б, д — прессование; в, е — раскрытие формы; ж — извлечение из отливки стержня и сталкивание отливки с подвижной части формы; тип I: 1 — поршень; 2 — жидкий металл; 3 — камера прессования; 4 — неподвижная часть формы; 5 — подвижная часть формы; 6 — продольный литейный стержень; 7 — пятка; 8 — литниковое отверстие; 9 — остаток металла; 10 — отливка с литником; тип II: 1 — подвижная часть формы; 2 — поперечный литейный стержень; 3 — неподвижная часть формы; 4 — камера прессования; 5 — ковш; 6 — поршень; 7 — жидкий металл; 8 — питатель; 9 — отверстие; 10 и 13 — отливка; 11 — остаток затвердевшего металла; 12 — толкатель

пятка 7 поднимается и срезает остаток 9 металла, освобождая тем самым выход отливки 10 вместе с литником (см. рис. 2.14, в).

На схеме действия машины с холодной горизонтальной камерой прессования, приведенной на рис. 2.14, г–ж (тип II), изображены четыре последовательных положения прессующего поршня б с камерой прессования 4 и литейной формы 1, 3 с одним поперечным литейным стержнем 2, удаляемым из отливки 10 до начала выталкивания.

Расплавленный металл 7 вливается в горизонтальную камеру 4 через специальное отверстие (см. рис. 2.14, г, на котором 1 — подвижная часть формы) и под действием поршня б запрессовывается в литейную форму (см. рис. 2.14, г). При раскрытии формы остаток металла 11 остается на плоскости разъема (см. рис. 2.14, е). После полного выхода поперечного стержня 2 (см. рис. 2.14, ж) отливка 10 вместе с питателем 8 и остатком металла выталкивается толкателем 12 из подвижной половинки формы 1.

Современные машины с холодной камерой прессования имеют гидравлический привод. Рабочая жидкость — веретенное масло или эмульсия. Машины с горизонтальной камерой прессования имеют более короткую литниковую систему и, соответственно, меньшие потери теплоты и давления при подаче расплава из камеры прессования в рабочую полость литейной формы.

**Конструирование литейных форм.** Форма для литья под давлением изготавливается из стали. При определении плоскости разъема формы и расположения оформляющих частей необходимо учитывать усадку отливки. Для удобства выталкивания отливка должна после затвердевания обжимать выступающие части и стержни подвижной части литейной формы. На рис. 2.15 изображена пресс-форма для машины с холодной горизонтальной камерой прессования. Основные рабочие элементы формы — вкладыш матрицы 14 и вкладыш пуансона 7, которые делают из жаропрочной легированной стали и закаливают до твердости 44... 50 HRC. Для алюминиевого, магниевое и медного литья рекомендуется сталь марки 3Х2В8; для цинкового — стали марок 5ХНМ, 5ХВС или (для небольших серий) — марки У8А. Из этих сталей изготавливают также и литниковую втулку 19, в которой прорезают литниковый канал, соединяющийся с питателем 18 во вкладыше матрицы 14.

Жидкий металл 21, залитый в камеру прессования 23, под действием пресс-поршня 22 через литниковую втулку 19 по питателю 18 поступает в рабочую полость пресс-формы, в которой образуется отливка.

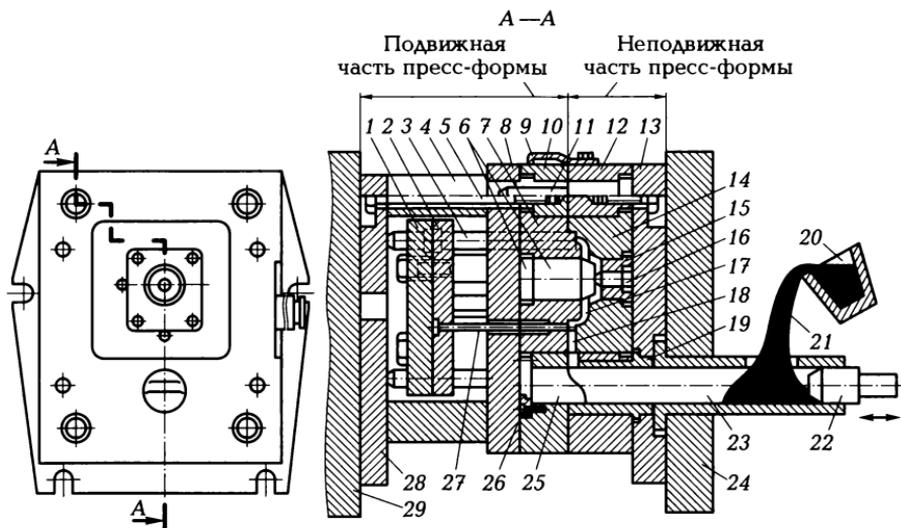


Рис. 2.15. Пресс-форма для машины с холодной горизонтальной камерой прессования:

1 и 2 — плиты выталкивателей; 3 — контрвыталкиватель; 4 — металлическая плоская прокладка; 5 — болты; 6 и 16 — литейные стержни; 7 — вкладыш пуансона; 8 — промежуточная плита; 9 — предохранительный щиток; 10 — плита пуансона; 11 — направляющая колонка; 12 — плита матрицы; 13 — крепежная плита; 14 — вкладыш матрицы; 15 — стержень-втулка, закрепляющая литейный стержень 16; 17 — рабочая полость литейной формы; 18 — питатель; 19 — литниковая втулка; 20 — ковш; 21 — жидкий металл; 22 — пресс-поршень; 23 — камера прессования; 24 — неподвижная плита машины; 25 — рассекатель; 26 — винт; 27 — выталкиватели; 28 — крепежная плита; 29 — подвижная плита машины

Чтобы избежать гидравлического удара по питателям 18 от потока (показан стрелкой) расплавленного материала (т. е. для плавного направления металла в литниковый канал) устанавливают фигурный рассекатель 25, который также изготовляют из легированной стали.

Вкладыш матрицы 14 закрепляют в плите матрицы 12 крепежной плитой 13, а вкладыш пуансона 7 — в плите пуансона 10 с помощью промежуточной плиты 8. Крепежная плита 28 подвижной половины формы соединяется через прокладки 4 с плитой пуансона 10 болтами 5. Обе половины формы центрируются четырьмя направляющими колонками 11. Внутренняя полость отливки и отверстия в ней оформляются литейными стержнями 6, 15 и 16.

Отливку удаляют из подвижной половины формы выталкивателями 27, закрепленными между плитами 1 и 2. Перемещение плиты выталкивателей осуществляется при нажатии на нее упора (не показан) машины, который проходит через отверстие в крепежной

плите 28. Контрвыталькиватели 3 при запираании литейной формы отводят выталькиватели в исходное положение.

К плите матрицы привинчивается предохранительный щиток 9, предохраняющий рабочего от брызг металла по плоскости разъема.

## 2.8. ДРУГИЕ ВИДЫ ЛИТЬЯ В МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ФОРМЫ

**Литье вакуумным всасыванием.** При таком литье (рис. 2.16, а) тонкостенная водоохлаждаемая литейная металлическая форма 3 заполняется расплавленным металлом из раздаточной печи 5 за счет разрежения, создаваемого в форме вакуумным насосом через патрубков 1. Литейная водоохлаждающая форма 3 при заполнении ее металлом опирается на керамический поплавок 4. Во время непродолжительной выдержки формируется отливка 2. Затем полость формы соединяется с атмосферой, и незатвердевший металл сливается в раздаточную печь.

Этим способом изготовляют разнообразные втулки, кольца, гайки, колеса компрессоров из медных, алюминиевых и других сплавов. *Достоинства* литья вакуумным всасыванием состоят в отсутствии потерь металла на литниковую систему и устранении брака (газовых раковин и пористости), так как отливка образуется при последовательной кристаллизации. *Недостаток* — малая производительность.

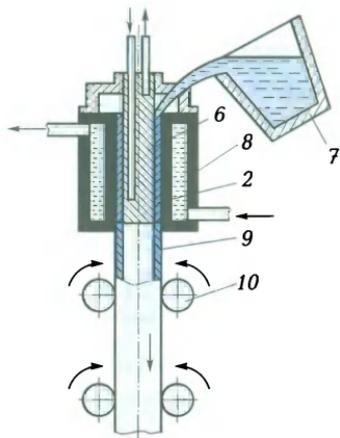
**Непрерывное литье.** Сущность способа заключается в том, что жидкий металл из печи или ковша 7 (рис. 2.16, б) или металлоприемника 11 (рис. 2.16, в) поступает в кристаллизатор 8, представляющий собой охлаждаемую водой металлическую литейную форму. В кристаллизаторе металл затвердевает в виде отливки, которую непрерывно вытягивают из кристаллизатора специальным устройством.

При вертикальном непрерывном литье (см. рис. 2.16, б) перед началом работы в кристаллизатор 8 вводят снизу затравку (трубу) 9, верхняя часть которой образует дно в нижней части кристаллизатора 8, а нижняя часть зажата валиками 10. Внутренняя полость отливки 2 образуется вокруг металлического сплошного стержня 6, охлаждаемого водой.

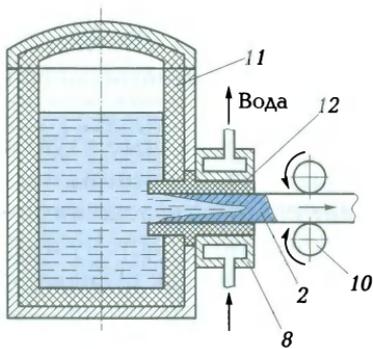
По мере затвердевания металла, непрерывно заливаемого в кристаллизатор, затравка (труба) 9 с отливкой 2 движется вниз, при этом образуется труба.



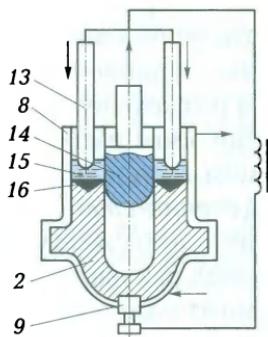
*a*



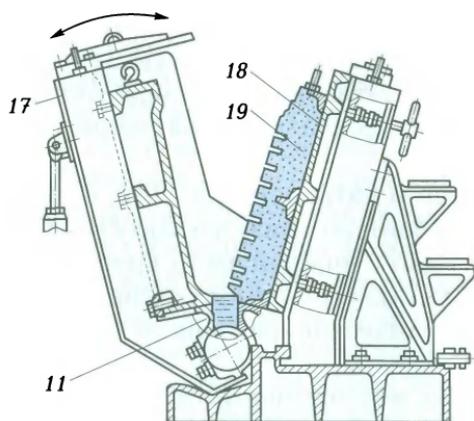
*б*



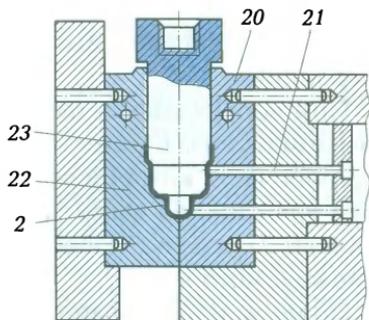
*в*



*г*



*г*



*e*

Рис. 2.16. Виды литья в металлические формы:

*а* — вакуумным всасыванием; *б* — вертикальное непрерывное литье; *в* — горизонтальное непрерывное литье; *г* — электрошлаковая сварка; *г* — литье выжиманием; *е* — жидкая штамповка: 1 — патрубок; 2 — отливка; 3 — водоохлаждаемая форма; 4 — керамический поплавок; 5 — раздаточная печь; 6 — металлический сплошной стержень с вертикальными каналами для воды; 7 — ковш; 8 — кристаллизатор с водой; 9 — затравка; 10 — валики; 11 — металлоприемник; 12 — графитовая насадка; 13 — расходующий электрод; 14 — металлическая вставка — подвижной стержень; 15 — шлаковая ванна; 16 — металлическая ванна; 17 — подвижная матрица; 18 — неподвижная матрица; 19 — песчаный стержень; 20 и 22 — разъемная матрица; 21 — выталкиватели; 23 — пуансон

При горизонтальном непрерывном литье заготовок различного профиля (см. рис. 2.16, *в*) расплавленный металл из металлоприемника 11 поступает через графитовую насадку 12 в водоохлаждаемом кристаллизаторе 8 и затвердевает в виде отливки 2, которую вытягивают специальными валиками 10. Длинные отливки разрезают на заготовки требуемой длины. Этим способом получают различные отливки (с параллельными образующими) из чугуна, медных, алюминиевых и других сплавов. *Достоинства* — в подобных отливках отсутствуют неметаллические включения, усадочные раковины и пористость.

**Электрошлаковое литье.** Сущность электрошлакового литья состоит в переплаве расходующего электрода в водоохлаждаемой металлической форме (кристаллизаторе). При этом операция расплавления металла, его заливка и выдержка отливки в форме совмещены по месту и времени. В качестве расходующего электрода используют прокат.

При изготовлении отливок в металлическую форму (кристаллизатор) 8 заливают предварительно расплавленный шлак 15, состоящий из фторида кальция или смеси на его основе и обладающий высоким электросопротивлением (рис. 2.16, *г*). При пропускании электрического тока через погруженный в шлаковую ванну расходующий электрод 13 и затравку 9 выделяется значительное количество теплоты, за счет которой шлаковая ванна 15 нагревается до температуры 1 700 °С, что вызывает оплавление электрода 13. Капли расплавленного металла проходят через расплавленный шлак и образуют под ним металлическую ванну 16, металл которой в водоохлаждаемом кристаллизаторе 8, как в форме, затвердевает последовательно, образуя плотную без усадочных дефектов (раковин и пористости) отливку 2. Внутренняя полость отливки

образуется металлической вставкой 14. Рафинирующее действие расплавленного шлака способствует удалению кислорода, снижает содержание серы и неметаллических включений, что обуславливает получение отливок с высокими механическими и эксплуатационными свойствами.

Электрошлаковым литьем изготавливают отливки ответственного назначения массой до 300 т: корпуса клапанов и задвижек атомных и тепловых электростанций, коленчатые валы судовых дизелей, корпуса сосудов сверхвысокого давления, роторы турбогенераторов и др.

**Литье выжиманием.** В металлоприемник 11 (рис. 2.16, г) литейной выжимной установки заливают расплавленный металл. Подвижная матрица 17 перемещается в сторону неподвижной матрицы 18 с постоянной угловой скоростью. При сближении матриц металл выжимается из металлоприемника 11 и заполняет полость формы между матрицами. Этим способом можно получать отливки, используя песчаный пропитанный коллоидными растворами и затвердевший песчаный стержень 19, в том числе и крупногабаритные тонкостенные отливки.

**Жидкая штамповка.** Сущность процесса жидкой штамповки состоит в том, что пуансон 23 извлекают из разъемной матрицы (20, 22), в которую заливают порцию жидкого металла штампа, подвергают давлению пуансона 23 (рис. 2.16, е). После окончательного затвердевания металла под давлением штамп раскрывается и литая заготовка 2 удаляется выталкивателями 21. Таким образом, формообразование заготовки осуществляется одновременно с кристаллизацией металла под давлением до 200 МПа. Внешнюю поверхность детали часто не подвергают механической обработке, так как шероховатость поверхности достигает  $Rz\ 20$  мкм. Точность размеров заготовок, полученных в процессе жидкой штамповки, соответствует 12-му качеству.

По сравнению с литьем под давлением жидкая штамповка имеет *преимущества*: можно получать толстостенные заготовки, почти не имеющие воздушно-газовой пористости; можно экономить металл за счет отсутствия литниковой системы.

В то же время необходимо учитывать, что жидкая штамповка предназначена для изготовления простых по конфигурации заготовок с толщиной стенки не менее 4 мм.

По сравнению с горячей штамповкой данный процесс также имеет некоторые *преимущества*: можно изготовить детали из малопластичных и даже хрупких сплавов; давление на металл в процессе формообразования меньше; можно выполнить глубокие полости; износ штампа меньше.

Наиболее широко процесс жидкой штамповки используют для получения заготовок из литейных медных сплавов.

Технологический процесс жидкой штамповки состоит из плавки, заливки и собственно штамповки. Плавку осуществляют в тигельных горнах или индукционных электропечах. Для заливки металла в форму применяют предварительно подогретые мерные ковши, изготовленные из листовой стали и покрытые тонким слоем огнеупорной обмазки. Перед заливкой рабочие части штампа покрывают смазкой, состав которой подбирают в соответствии со штампуемым сплавом. Время выдержки после заливки зависит от объема порции сплава, от температуры штампа и залитого сплава и от скорости хода ползуна пресса. Для малых по размеру заготовок, штампуемых на прессах со скоростью ползуна менее 0,07 м/с, выдержка не нужна. Для средних заготовок выдержка составляет от 5 до 15 с. Температура предварительного подогрева штампа составляет 200... 250 °С для медных сплавов; 150... 200 °С для алюминиевых сплавов.

Для жидкой штамповки можно применять гидравлические прессы с вертикальным или горизонтальным разъемом, обычные машины для литья под давлением с вертикальным ходом пуансона или специальные машины, например, машину ОВП-2.

Технология литья была в нашей стране хорошо освоена уже несколько веков назад. В 1586 г. под руководством выдающегося русского литейщика А. Чохова была отлита пушка огромных размеров — «Царь-пушка» массой 2 400 пудов (около 40 т). В 1735 г. знаменитые литейщики И. Моторин и М. Моторин отлили огромный «Царь-колокол» массой 12 000 пудов (200 т). Оба образца высокого литейного искусства сохранились до наших дней и находятся в Московском Кремле.

Научные основы литейного производства заложены в трудах Г. Ф. Балабина, А. К. Белопухова, Э. Ч. Гини, Н. П. Дубинина, П. П. Жевтунова, В. В. Калуцкого, А. Ю. Коротченко, А. С. Лаврова, Е. М. Родионова, Н. Н. Рубцова, В. А. Рыбкина, Ю. А. Степанова, Д. К. Чернова и других отечественных ученых, глубоко исследовавших процессы производства отливок. Во второй и третьей четвертях XX в. произошел значительный рост литейного производства страны, чему способствовали механизация, автоматизация и облегчение трудоемких работ в литейных цехах.

Необычайно расширился и ассортимент отливок благодаря применению новых способов литья: литья под давлением, литья в постоянных металлических формах, точного (прецизионного) литья, центробежного литья и др. Эти способы широко применяются в промышленности.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

---

1. В чем заключается сущность изготовления отливок литьем в песчаные формы?
2. В чем заключается сущность изготовления отливок литьем в оболочковые формы?
3. Какую последовательность операций необходимо соблюдать при изготовлении отливок литьем по выплавляемым и выжигаемым моделям?
4. В чем состоят особенности изготовления отливок в кокилях? Для чего предназначаются теплозащитные кокильные покрытия?
5. В чем заключается сущность изготовления отливок литьем под давлением? Укажите основные параметры процесса.
6. В чем заключаются особенности изготовления отливок центробежным литьем? Рассмотрите последовательность получения отливок.
7. В чем заключаются особенности получения отливок непрерывным и электрошлаковым литьем? Рассмотрите сущность этих способов.

# ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

### 3.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

С древних времен одними из самых уважаемых людей были кузнецы, которые изготавливали подковы, доспехи, булатные мечи, инструменты труда, украшения и предметы быта. Фамилия Кузнец (Кузнецов) является самой распространенной в мире.

За свою многотысячелетнюю историю кузнецы прошли путь использования от дерева, камня и кувалды до молотов, прессов, штампов, нанотехнологий и тиксоштамповки, при которой металл делается вязким, как масло, во время формовки, а затем вновь затвердевает при начальных условиях. Кузнецы научились управлять течением металла, последовательно применяя нагрев, деформирование и охлаждение, добиваться специальной структуры материала, а следовательно, добиваться его специальных улучшенных свойств (например, при увеличении прочности металла появляется возможность уменьшить размеры и массу детали и др.).

Ковка — самый первый метод обработки металлов давлением. Она применялась уже в IV — III тысячелетиях до н.э. Теперь методомковки получают поковки массой до 200 т вручную или с помощью молотов и ковочно-гидравлических прессов. Штамповка, на которую первый патент был выдан в 1796 г. в Германии, широко применяется с середины XX в., когда началось бурное развитие машиностроения и приборостроения. Она бывает с нагревом (до 800 °С для Ti) и без нагрева (холодная).

В России специализированных заводов для производства кузнечно-штамповочных машин (КШМ) не было до начала индустриализации СССР: первый завод (Воронежский завод кузнечно-

прессового оборудования им. М. И. Калинина) был создан в 1931—1932 гг., вскоре появились еще около 10 заводов. В 1940 г. они выпустили 4 700 КШМ, а в 1980 г. — 57 100 КШМ.

Значительный вклад в совершенствование различных методов обработки металлов давлением внесли отечественные инженеры и ученые: Ю. А. Бочаров, А. В. Власов, И. И. Гирш, С. И. Губкин, С. А. Евсюков, В. И. Залесский, А. И. Зимин, Е. И. Исаченков, В. Г. Ковалев, А. Н. Малов, А. Д. Матвеев, П. К. Мухалев, А. Г. Овчинников, Е. А. Попов, Е. В. Розанов, Е. И. Семенов, М. В. Сторожев, А. Д. Томдёнов, Е. П. Унсов, А. И. Целиков и др.

К категории процессов, объединяемых под общим наименованием **обработка давлением**, относят ковку и штамповку в холодном и горячем состоянии, прессование, волочение, прокатку, накатку и др. Сущность этих процессов заключается в том, что металл в холодном или горячем состоянии изменяет свою форму (*деформируется*) под действием *давления*, которое больше сил сцепления молекул металла.

Известно, что все металлы и металлические сплавы имеют структуру кристаллов. Кристаллическая структура характеризуется упорядоченным трехмерно-периодическим *расположением атомов* — кристаллической решеткой. Одиночный кристалл — это *монокристалл*. Можно вырастить или найти в природе одиночный кристалл (монокристалл) многих кристаллических тел. Металлы и их сплавы обычно состоят из множества кристаллов-зерен, отличающихся друг от друга взаимным произвольным расположением их кристаллических решеток в пространстве. В таком случае тело называют *поликристаллическим*, т. е. *поликристаллом*.

Многие металлы в холодном состоянии обладают большими силами сцепления молекул, и для преодоления этих сил приходится прилагать большие давления. Уменьшить силы сцепления молекул можно, если подлежащие обработке заготовки нагреть. Обработку металла давлением проводят при температурах, при которых металл становится пластичным и неспособным к рекристаллизации. При рекристаллизации одни кристаллические зерна образуются и растут за счет других зерен той же фазы. В результате рекристаллизации обычно прочность и твердость металла снижаются, а его пластичность увеличивается.

При воздействии на металлическое тело давления внешних сил тело деформируется; при этом необходимо различать *упругую* и *пластическую* деформацию. Если после снятия внешних сил деформированное тело полностью восстанавливает свои размеры и форму, то такую деформацию называют упругой. Пластической

называют остаточную (необратимую) деформацию тела после снятия внешней нагрузки.

**Упругая деформация.** Между атомами твердого тела существуют силы взаимного притяжения и отталкивания: первые стремятся сблизить атомы, вторые удерживают их от тесного сближения. Равновесие нарушается при приложении внешних сил, а при этом атомы смещаются и расстояние между ними изменяется. Изменение межатомных расстояний ведет к нарушению равновесия межатомных сил, к повышению потенциальной энергии системы атомов, что увеличивает свободную энергию системы атомов (и кристалла в целом).

Механизм упругой деформации заключается в отклонении от положения устойчивого равновесия при приложении внешних сил, причем величина отклонения не превышает расстояния между атомами. Поэтому при снятии внешних сил все смещенные атомы возвращаются в исходное положение, т. е. кристаллические решетки всех зерен поликристаллического металла или сплава восстанавливают свою форму. Объем упругодеформированного тела при сжатии давлением 1 000 МПа уменьшается на небольшую величину: 0,6 % для стали, 1,3 % для меди.

Стремление атомов перейти в устойчивое положение представляет собой *напряженное состояние тела*.

**Пластическая деформация.** Необратимое изменение формы и размеров — пластическая деформация — происходит в результате относительного перемещения атомов в новые положения устойчивого равновесия на расстояние, значительно превышающее расстояние между атомами в кристаллической решетке.

Деформация тела сопровождается изменением его свойств: цвета, электропроводности, растворимости в кислотах, магнитной проницаемости. При упругом деформировании изменение свойств обратимо.

**Механизмов пластической деформации монокристалла** в основном два: скольжение и двойникование.

*Скольжение* представляет собой параллельное смещение тонких слоев кристалла относительно смежных. Плоская граница между движущимся и неподвижным слоями — это поверхность скольжения. Пересечение поверхностей скольжения с поверхностью кристалла называют *полосой скольжения*. Расстояние между слоями (по экспериментальным измерениям) приблизительно 1 мкм, а расстояние между соседними атомными плоскостями приблизительно  $10^{-4}$  мкм. Обычно плоскостями скольжения в кристаллах являются плоскости наибольшей упаковки атомов.

Скольжение атомов начинается в одном или нескольких участках плоскости скольжения и затем распространяется на всю плоскость.

Для объяснения процесса скольжения пользуются теорией дислокаций. В кристаллах *дислокации* — это линии, вдоль которых правильное чередование атомных плоскостей в кристаллической решетке нарушено. Дислокации (дефекты решетки) представляют собой границу между деформированной и недеформированной областями кристалла в плоскости скольжения. Дислокации — причина уменьшения прочности металла во много раз.

При *двойниковании* в монокристалле образуются области с закономерно измененной ориентацией кристаллической решетки. Пластическая деформация реализуется изменением ориентировки одних частей кристаллической структуры относительно других. Пластическая деформация при двойниковании невелика.

При деформации монокристалл разделяется плоскостями скольжения и двойникования на отдельные блоки, имеющие внутри правильное кристаллическое строение, т. е. каждый блок — это монокристалл. Таким образом монокристалл превращается в поликристалл, состоящий из множества зерен-монокристалликов.

**Пластическая деформация поликристалла** складывается из *деформации зерен и межзеренной деформации*.

Различие деформации поликристалла от деформации монокристалла заключается в том, что плоскости скольжения (наибольшей упаковки атомов) в отдельных зернах ориентированы не одинаково. В результате приложения внешних сил деформация в зернах будет происходить не одновременно: сначала в зернах с благоприятной ориентировкой по отношению к сдвигающему (касательному) напряжению, а затем (постепенно) во всех остальных, когда величина касательного напряжения и для их положения достигнет максимального (сдвигающего) значения. В результате процесса скольжения в поликристаллическом теле, как и в монокристалле, на поверхности появится *линия скольжения*. След скольжения часто портит внешний вид деталей. Чтобы предупредить возникновение линий скольжения, заготовки перед формоизменением подвергают «дрессировке» — большой степени деформации по толщине, так как линии скольжения возникают при небольшой степени деформации. При дальнейшем увеличении степени деформации вся поверхность тела покрывается линиями скольжения, поэтому их следы трудно заметить.

Дальнейшее увеличение деформации поликристаллического тела приводит и к тому, что зерна получают вытянутую форму в направлении интенсивного течения. Определенная ориентировка вытянутых при пластической деформации зерен называется *лоосчатостью микроструктуры*.

Одновременно с изменением формы зерен происходит поворот кристаллографических осей отдельных зерен. По мере протекания пластических деформаций разница в направлениях *кристаллографических осей* зерен уменьшается. Это приводит к тому, что при значительной пластической деформации возникает *текстура* — преимущественная ориентировка кристаллографических осей зерен поликристалла. Возникновение текстуры приводит к *анизотропии* — неодинаковости физических свойств поликристалла в разных направлениях. Так, прокатку (деформацию обжатием между вращающимися валками) листового материала часто ведут в одном направлении. В результате у прокатанных листов металла при этом возникает анизотропия механических свойств. Анизотропия отрицательно сказывается на качестве изделий. В некоторых случаях требуется дополнительная операция (в данном случае обрезка торца листа).

При *холодной* (при температуре ниже температуры рекристаллизации) *пластической деформации* происходят следующие явления. Пластическая деформация поликристалла приводит к изменению механических, физических и химических свойств.

С увеличением степени деформации увеличиваются пределы упругости, текучести и прочности, увеличивается твердость металла, уменьшаются показатели пластичности (относительное удлинение и сужение, ударная вязкость); увеличивается электросопротивление, уменьшается сопротивление коррозии, теплопроводность, изменяются магнитные свойства ферромагнитных материалов и т. д. Повышение сопротивляемости материалов их разрушению или их остаточной (необратимой, пластической) деформации называется *упрочнением*. Поверхностное упрочнение поликристаллических металлов и их сплавов, например, при обкатке изделий называют *наклепом*. В настоящее время природа упрочнения полностью не выяснена. Изменение механических свойств, связанное с увеличением прочностных характеристик, объясняют искажением пространственной решетки, искажением плоскостей скольжения, концентраций обломков зерен на поверхностях скольжения.

С изменением степени деформации величина сопротивления деформированию увеличивается по сравнению с начальным сопротивлением в 2 раза и более. При пластической деформации вследствие внутреннего трениядвигаемых атомных плоскостей значительная часть (до 90 %) работы деформирующих внешних сил переходит в теплоту, температура поликристалла может значительно повыситься.

Холодная пластическая деформация влияет на свойства, зависящие от поликристаллической структуры металла.

Так, с увеличением холодной пластической деформации магнитная проницаемость, магнитная восприимчивость, магнитное насыщение и остаточная индукция *уменьшаются*, коэрцитивная сила и гистерезис — *увеличиваются* вследствие нарушения магнитных полей кристаллической решетки.

При холодной пластической деформации увеличивается электрическое сопротивление (у вольфрамовой проволоки — на 30... 50 %), кроме того, уменьшается теплопроводность; повышается обрабатываемость резанием; увеличивается химическая активность.

При холодной пластической деформации из-за неравномерности распределения деформаций по телу, разного направления скольжения атомных плоскостей в кристаллических решетках отдельных зерен, зерна получают различную (некоторые зерна — упругую) деформацию, что вызывает остаточные деформации.

При *деформировании с нагревом* амплитуда колебания атомов настолько увеличивается, что они могут занимать положение устойчивого равновесия и тем самым снимать остаточную деформацию. Это явление называют *возвратом*. Возврат происходит при температурах  $(0,25 \dots 0,30)t_{\text{пл}}$  ( $t_{\text{пл}}$  — температура плавления, °C).

Возврат противоположен упрочнению (приводит к некоторому уменьшению сопротивления деформированию), однако не влияет на величину, форму и размеры зерна. Возврат не препятствует образованию текстуры при деформации; с увеличением температуры скорость деформирования увеличивается. Повышение скорости деформирования может уменьшить эффект возврата. Возврат происходит также и при нагреве после холодного деформирования. Отмечено положительное действие возврата, заключающееся в повышении сопротивления холоднодеформированного металла коррозии и самопроизвольному *растрескиванию*. Последнее наблюдается на холоднодеформированных деталях (особенно из латуни) за счет межкристаллической коррозии.

У некоторых металлов (например, у углеродистой стали) при возврате наблюдаются явления старения, заключающиеся в увеличении прочности и уменьшении пластичности.

При *горячей деформации* (при температуре выше температуры рекристаллизации) в деформируемом металле возникает процесс, противоположный упрочнению, — *рекристаллизация*.

При увеличении температуры до  $0,4t_{\text{пл}}$  и больше в металле происходят процессы *рекристаллизации*: *появление зародышей зерен, возникновение и рост новых зерен* взамен деформированных. Возможность рекристаллизации обуславливается тем, что при повышении температуры энергетический баланс атомов повышается

настолько, что они могут перегруппировываться и *интенсивно обмениваться местами*.

При рекристаллизации получаются равноосные зерна, величина зерна зависит от температуры, степени деформации и скорости деформации.

Процессу рекристаллизации можно подвергать холоднодеформированные материалы.

Виды пластической деформации определяют в зависимости от того, какие процессы протекают в металле: упрочнение или разупрочнение (возврат, рекристаллизация).

При *холодной деформации* полностью отсутствуют возврат и рекристаллизация.

При *неполной холодной деформации* успевает произойти только возврат (рекристаллизации нет).

При *неполной горячей деформации* рекристаллизация проходит не полностью.

При *горячей деформации* происходит полная рекристаллизация деформированного металла.

Температура металла значительно влияет на механические свойства металла: увеличивается пластичность и уменьшается предел текучести. Указанные явления определяют качественную сторону процесса деформирования металла.

Напряжение и степень деформации определяют количественную характеристику процесса деформирования.

Под действием внешних сил в теле возникают внутренние силы. Величину внутренней силы, отнесенную к единице площади, называют *напряжением*.

Величину деформации принято выражать *степенью деформации*.

Наибольшие допустимые степени деформации за одно обжатие (или за *технологический переход* — см. подразд. 1.2) для разных процессов обработки давлением и разных металлов различны и будут приведены при рассмотрении конкретных процессов.

## 3.2. ПОЛУЧЕНИЕ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОФИЛЕЙ

---

### 3.2.1. Виды профилей

**Машиностроительные профили** — длинномерные изделия (у которых длина значительно больше поперечных размеров) с определенной формой поперечного сечения. Состав продукции

металлургического производства (в данном случае — профилей) по маркам, размерам, форме, материалу называют **сортаментом**. Весь сортамент машиностроительных профилей, получаемых обработкой давлением, можно разделить на четыре основные группы: сортовые профили, листовой металл, трубы и периодические профили.

*Сортовые профили* (рис. 3.1, а) подразделяют на профили *простой геометрической формы* (круг, шестиугольник, квадрат, прямоугольник) и *фасонные* (рельс, швеллер, двутавровый и угловой профили, полоса для башмаков тракторных гусениц и т.д.).

*Листовой металл* из стали и цветных металлов используют в различных отраслях промышленности. В связи с этим, например, листовую сталь подразделяют на *автотракторную*; *трансформаторную*; *кровельную жельсть* и т.д. Расширяется производство листовой стали с оловянным, цинковым, алюминиевым и пластмассовым покрытиями. Кроме того, листовую сталь подразделяют на *толстолистовую* (толщиной 4... 160 мм) и *тонколистовую* (толщиной менее 4 мм). Листы толщиной менее 0,2 мм называют *фольгой*.

*Трубы* подразделяют на *бесшовные* и *сварные*. Бесшовные трубы используют в наиболее ответственных случаях в трубопроводах, работающих под внутренним давлением, в агрессивных средах.

*Периодические профили* имеют периодически изменяющиеся форму и площадь поперечного сечения вдоль оси заготовки (рис. 3.1, б). Эти профили применяют как фасонную заготовку для последующей штамповки и как заготовку под окончательную механическую обработку.

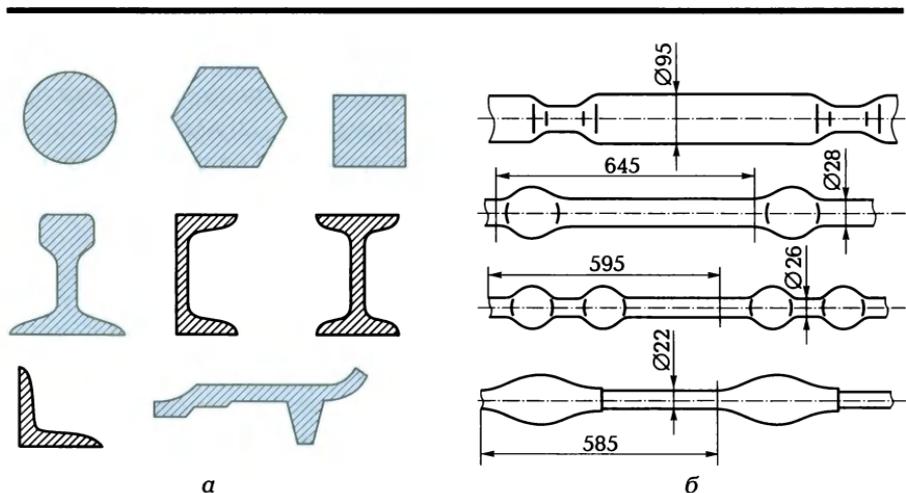


Рис. 3.1. Примеры сортовых (а) и периодических (б) профилей

Для изготовления машиностроительных профилей применяют различные виды обработки металлов давлением: прокатку, пресование, волочение, гибку. Поэтому, кроме группирования по приведенным геометрическим признакам, профили подразделяют и по способу их изготовления.

### 3.2.2. Прокатка

При прокатке прокатываемый металлический слиток (или заготовку) обрабатывают давлением путем обжатия между вращающимися валками прокатного стана, чтобы уменьшить сечение слитка (или заготовки) и придать ему заданную форму.

Прокатке подвергают до 90 % всей выплавляемой стали и большую часть цветных металлов. При прокатке металл пластически деформируется вращающимися валками. Взаимное расположение валков и заготовки, форма и число валков могут быть различными.

По характеру перемещения металла в очаге деформации прокатка может быть разделена на следующие виды: продольная; поперечная и поперечно-винтовая.

При обычной **продольной прокатке** (рис. 3.2, а) заготовка 1 деформируется валками 2, вращающимися в противоположных направлениях с одинаковыми скоростями. Оси валков параллельны друг другу, а расстояние между ними в процессе работы не меняется. Металл деформируется в основном в продольном направлении.

При **поперечной прокатке** (рис. 3.2, б) заготовка 1 деформируется двумя валками 2, которые вращаются с одинаковыми скоростями в одном направлении. Оси валков параллельны друг другу, как при продольной прокатке. Прокатываемая заготовка круглого сечения вращается в валках и по мере уменьшения расстояния между ними обжимается по диаметру. Обжатие по диаметру сопровождается вытяжкой в поперечном направлении, т.е. вдоль оси заготовки 1. Однако поперечная деформация заготовки затруднена, так как ей препятствуют силы трения вдоль образующих поверхностей обоих валков. В результате поперечной прокатки при определенных условиях деформации в осевой зоне заготовки возможно возникновение: полости в виде центрального отверстия или кольцевого зазора; рыхлости; других внутренних дефектов.

При **поперечно-винтовой прокатке** (рис. 3.2, в) валки 2, как и при поперечной прокатке, вращаются с одинаковыми скоростями

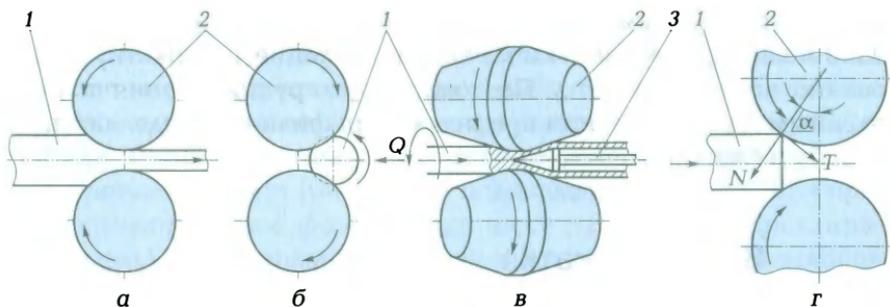


Рис. 3.2. Схемы прокатки:

*a* — продольной; *б* — поперечной; *в* — поперечно-винтовой; *г* — схема действия сил в момент захвата металла валками при продольной прокатке: 1 — заготовка; 2 — валки; 3 — оправка;  $Q$  — сила прижима заготовки к валкам;  $N$  — нормальная сила-реакция;  $T$  — сила трения;  $\alpha$  — угол захвата

ми в одну сторону. Оси валков при поперечно-винтовой прокатке перекошены одна относительно другой, по крайней мере, в одной из координатных плоскостей. Заготовку 1 подают в валки по направлению биссектрисы угла, образованного осями валков. Вследствие перекоса осей валков заготовка получает вращательно-поступательное движение, обеспечивающее непрерывность процесса обработки. Во время прокатки заготовка обжимается по диаметру и может в более благоприятных условиях деформироваться в осевом направлении под действием осевой составляющей окружной скорости валков. Непрерывность процесса обработки, являясь важным преимуществом поперечно-винтовой прокатки, сближает данный процесс с продольной прокаткой. Однако основные закономерности процесса определяет поперечная прокатка, так как углы перекоса осей валков 2 при поперечно-винтовой прокатке относительно невелики ( $0,5 \dots 10^\circ$ ). В результате поперечно-винтовой прокатки при определенных условиях деформации также возможно возникновение рыхлости или внутренней полости в осевой зоне заготовки, что недопустимо для заготовок и профилей сплошного сечения. Однако разрыхление металла при этом виде прокатки способствует успешной прошивке гильз из сплошной заготовки. Прошивка гильз на станах поперечно-винтовой прокатки при помощи оправки 3 и валков 2 соответствующей формы является одним из основных технологических процессов изготовления полых заготовок для прокатки бесшовных труб.

Рассмотрим подробнее схему деформирования металла при наиболее распространенной продольной прокатке. При всех схемах

прокатки металл подвергается деформации только на некотором участке, который по мере вращения валков и движения заготовки вперед как бы перемещается по прокатываемому металлу. В процессе прокатки уменьшается толщина заготовки при одновременном увеличении ее длины и ширины. Площадь поперечного сечения заготовки в результате прокатки всегда уменьшается. Отношение полученной длины  $l$  к первоначальной  $l_0$  (равное отношению первоначальной площади поперечного сечения  $F_0$  к полученной  $F$ ) называется *вытяжкой*:  $\mu = l/l_0 = F_0/F$ .

Величина вытяжки — одна из основных количественных характеристик деформации при прокатке и составляет обычно 1,1 ... 1,6 за проход, но может быть и больше.

Для прокатки обязательно наличие контактного трения между валками и деформируемым металлом. В частности, в начальной стадии прокатки должно быть выполнено так называемое *условие захвата металла валками*. Заготовка 1 подается в валки 2 с некоторой начальной силой (рис. 3.2, г), которая вызывает со стороны валков нормальные реакции  $N$  и силы трения  $T$  (действующие со стороны нижнего валка силы  $N$  и  $T$  не показаны). Спроектировав эти силы на горизонтальную ось, можно записать условие захвата металла валками (по отношению к одному валку, так как система симметрична):

$$N \sin \alpha < T \cos \alpha.$$

Угол  $\alpha$  называют *углом захвата*. Выразив силу трения через  $T = fN$ , где  $f$  — коэффициент трения, и подставив это выражение в условие захвата, получим

$$\sin \alpha < f \cos \alpha \text{ или } f > \operatorname{tg} \alpha.$$

Таким образом, условие захвата требует, чтобы коэффициент трения между валками и заготовкой был больше тангенса угла захвата. При горячей прокатке стали гладкими валками угол захвата 15 ... 24°.

Отметим, что скорость выхода прокатанного металла из валков всегда больше, чем скорость входа заготовки в валки. Это необходимо учитывать при прокатке заготовки одновременно несколькими парами валков.

Область применения прокатанного металла огромна: непосредственно в конструкциях (мостах, зданиях, железобетонных конструкциях, железнодорожных путях, станинах машин и т. д.), в качестве заготовок для изготовления деталей в механических це-

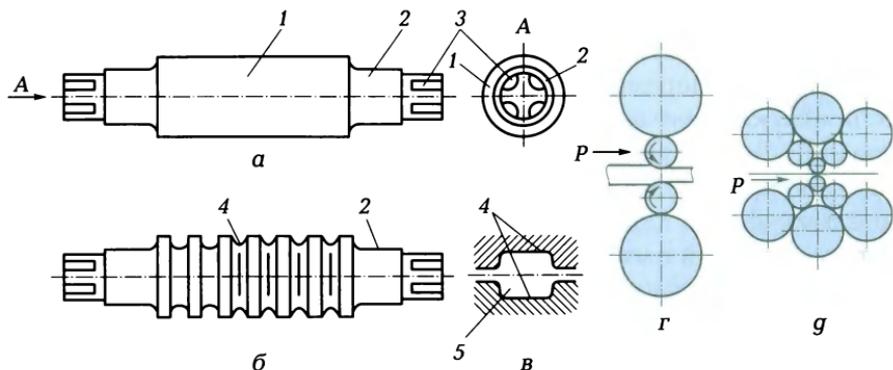


Рис. 3.3. Инструмент для прокатки:

*a* — гладкий валок; *б* — ручьевого валок; *в* — калибр; *г, г* — расположение валков в 4-валковой и 12-валковой клетях соответственно: 1 — гладкая бочка; 2 — шейки; 3 — трефы; 4 — ручей; 5 — калибр; *P* — усилие подачи заготовки

хах и заготовок для последующейковки и штамповки. Прокатные профили приведены на рис. 3.1.

*Инструмент* (рабочий орган) *прокатного стана* — это валки, которые в зависимости от прокатываемого профиля могут быть гладкими (рис. 3.3, *a*), применяемыми для прокатки листов, полос, лент и т.п.; ступенчатыми, например, для прокатки полосовой стали, и ручьевыми (рис. 3.3, *б*) для получения сортовых профилей (см. рис. 3.1, *a*). *Ручьем* 4 называют кольцевой вырез на боковой поверхности валка, а совокупность двух ручьев образует полость 5, называемую *калибром* (рис. 3.3, *в*). Каждая пара ручьевых валков обычно образует несколько калибров.

Валки состоят из рабочей части — бочки 1, а также шеек 2 и трефы 3. Шейки валков вращаются в подшипниках, которые у одного из валков могут перемещаться специальным нажимным механизмом для изменения расстояния между валками и регулирования взаимного расположения их осей. Комплект прокатных валков со станиной называют *рабочей клетью*, которая вместе со шпинделем для привода валков, шестеренной клетью для передачи вращения с одного на два вала, редуктором, муфтами и электродвигателем образует *рабочую линию стана*. Рабочие клетки по числу и расположению валков могут быть 2-валковые; 4-валковые (рис. 3.3, *г*), у которых два валка рабочих (прокатных) и два опорных; многовалковые (рис. 3.3, *г*), у которых также два валка рабочих, а остальные — опорные. Использование опорных валков позволяет применять рабочие валки малого диаметра,

благодаря чему увеличивается вытяжка и снижаются деформирующие силы.

**Прокатные станы** могут быть *одноклетьевыми* (с одной рабочей клетью) и *многоклетьевыми*.

Наиболее совершенные многоклетьевые станы — непрерывные, у которых рабочие клетки располагают последовательно одну за другой. Прокатываемая полоса через каждую клеть проходит только один раз, т. е. число рабочих клеток этих станов равно требуемому числу проходов полосы. Расстояние между клетями обычно меньше длины прокатываемой полосы, следовательно, она прокатывается одновременно в нескольких клетях. На непрерывных станах достигается высокая производительность при полном исключении ручного труда.

По назначению прокатные станы подразделяют на станы *для производства полупродукта* и станы *для выпуска готового проката*. К первой группе относят *обжимные* станы для прокатки слитков в полупродукт крупного сечения (*блюминги*, дающие заготовку для сортового проката, и *слябинги*, дающие заготовку для листового проката) и *заготовочные* — для получения полупродукта более мелкого сечения.

К станам для производства готового проката относят сортовые, листовые, трубные и специальные. Размер блюмингов, слябингов, заготовочных и сортовых станов характеризуется диаметром бочки валков (например, блюминг 11 500 мм; сортовой стан 350 мм); размер листовых станов — длиной бочки (например, стан 3 600 мм), а размер трубoproкатных станов — наружным диаметром прокатываемых труб.

Исходной заготовкой при прокатке служат слитки. *Слиток* — продукт металлургического производства, получаемый после затвердевания расплавленного металла в металлических формах (*изложницах*). Слиток — это полуфабрикат, имеющий форму усеченной пирамиды, призмы, цилиндра или конуса. Применяют слитки из стали массой до 60 т, из цветных металлов и их сплавов обычно массой до 10 т. При производстве *сортовых профилей* стальной слиток массой до 15 т в горячем состоянии прокатывают на блюминге, получая заготовки квадратного (или близкого к нему) сечения (от 140 × 140 до 450 × 450 мм), называемые *блюдами*. Блюда поступают на заготовочные станы для прокатки заготовок требуемых размеров или сразу на станы для прокатки крупных профилей сортовой стали. На заготовочных и сортовых станах заготовка последовательно проходит через ряд калибров.

Применение системы калибров для последовательного получения того или иного профиля, называют *калибровкой*.

Все более широкое распространение находит *бесслитковая* прокатка — получение проката непосредственно после непрерывного литья, минуя операции отливки слитков в изложницы, их предварительной обработки в обжимных прокатных станах или ковкой, а также ряд вспомогательных операций. В этом случае из плавильной печи жидкий металл заливают в ковш, а из него на агрегате непрерывного литья и прокатки металл поступает в кристаллизатор. Кристаллизатор и следующие за ним поддерживающие и подающие ролики обеспечивают непрерывное, равномерное поступление металла в рабочие клетки прокатного стана. Таким способом получают стальную проволоку диаметром 8 мм, алюминиевую ленту толщиной 8... 12 мм.

При производстве листового проката стальной слиток массой до 50 т в горячем состоянии прокатывают на слябинге или блюминге, получая заготовку прямоугольного сечения с наибольшей толщиной — 350 мм и шириной — 2300 мм, называемую *слябом*.

В настоящее время вместо прокатанных заготовок широко применяют заготовки в виде слябов, полученных непрерывной разливкой. Слябы прокатывают большей частью на непрерывных станах *горячей прокатки*, состоящих из двух групп рабочих клеток — черновой и чистовой, расположенных друг за другом. Перед каждой группой клеток сбивают окалину в окалиноломателях. После прокатки полосу толщиной 1,2... 16 мм сматывают в рулон. К отделочным операциям производства горячекатаного листа относятся резка, травление, термическая обработка и др.

Исходным материалом для *холодной прокатки* листа толщиной менее 1,5 мм обычно служат горячекатаные рулоны.

На современных станах холодной прокатки производят листовую сталь с минимальной толщиной 0,15 мм и ленты с минимальной толщиной 0,0015 мм. Современным способом холодной прокатки является рулонный. Предварительно горячекатаный лист очищают травлением в кислотах с последующей промывкой. Прокатывают на одноклетевых и многоклетевых непрерывных 4-валковых станах, а также на многовалковых станах. После холодной прокатки материал проходит отделочные операции: отжиг в защитных газах, нанесение в случае необходимости покрытий, разрезку на мерные листы и др.

При прокатке *бесшовных труб* первая операция — прошивка, т.е. образование отверстия в слитке или круглой заготовке. Эту операцию выполняют в горячем состоянии на прошивных станах, в которых используется принцип поперечно-винтовой прокатки (см. рис. 3.2, в).

Разрыхления металла в осевой зоне при этом виде прокатки облегчают прошивку отверстия оправкой 3, устанавливаемой на пути движения заготовки.

Последующую прокатку прошитой заготовки в трубу требуемых диаметра и толщины стенки проводят на раскатных станах, после чего осуществляют калибровку — волочение (см. подразд. 3.2.4) в холодном состоянии с небольшими обжатиями через очко волочильного стана.

*Сварные трубы* изготавливают из плоской заготовки ленты (называемой *штрипсом*) или из листов, ширина которых соответствует длине (или половине длины) окружности трубы. Процесс изготовления сварной трубы включает в себя следующие основные операции: гибку плоской заготовки в трубу, сварку кромок, уменьшение (редуцирование) диаметра полученной трубы. Для сварки чаще применяют следующие способы: печную сварку (в узкой длинной газовой печи), сварку сопротивлением (нагрев при протекании тока через металл) и дуговую (нагрев электрической дугой) под флюсом.

*Периодические профили* в основном изготавливают поперечной и поперечно-винтовой прокаткой. На станах поперечно-винтовой прокатки получают не только периодические профили, но и заготовки шаров, роликов для подшипников качения.

В промышленности для получения заготовок различных деталей широко применяют созданные под руководством академика А. И. Целикова станы поперечно-винтовой прокатки.

### 3.2.3. Прессование

**Прессование** — разновидность обработки материалов давлением, к которой также относятся горячая и холодная штамповки (пластическое деформирование в штампах).

При прессовании сплошного профиля (рис. 3.4, а) металл выдавливают из замкнутой полости через отверстие (канал), размеры и формы которого определяют сечение прессуемого профиля.

Прессованием изготавливают не только сплошные профили, но и полые (рис. 3.4, б). В этом случае в заготовке необходимо предварительно получить сквозное отверстие. Часто отверстие прошивают на том же прессе. В процессе прессования полого профиля при движении пуансона 1 с пресс-шайбой 7 металл заготовки выдавливают в зазор между матрицей 4 и иглой 5. Прессование по рассмотренным схемам называется прямым. Значительно реже

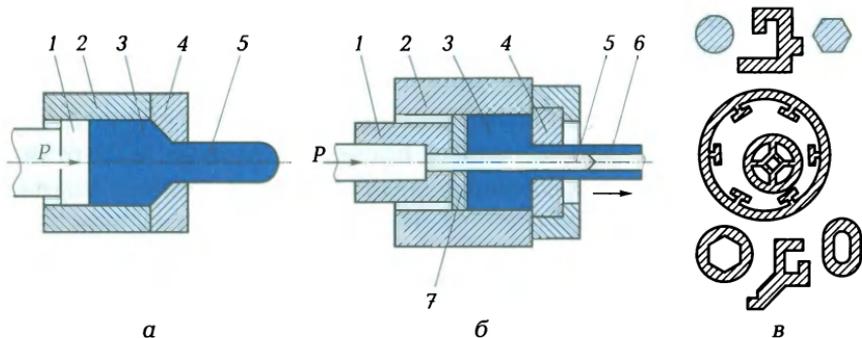


Рис. 3.4. Схемы прессования сплошного (а) и полого (б) профилей и примеры профилей, полученных прессованием (в):

1 — пуансон; 2 — контейнер; 3 — заготовка (прессуемый материал); 4 — матрица с отверстием (каналом); 5 — игла; 6 — выдавливаемая часть; 7 — пресс-шайба;  $P$  — сила давления пуансона

применяют обратное прессование, схема деформирования которого аналогична схеме обратного выдавливания.

Исходной заготовкой при прессовании служит слиток или прокат. Состояние поверхности заготовки влияет на качество поверхности и точность прессованных профилей. Поэтому во многих случаях заготовку предварительно обтачивают на станке; после нагрева поверхность заготовки тщательно очищают от окалины.

При прессовании металл подвергают всестороннему неравномерному сжатию и поэтому он имеет весьма высокую пластичность. Коэффициент, характеризующий степень деформации и определяемый как отношение площади сечения заготовки к площади сечения прессуемого профиля, при прессовании составляет 10...50.

Прессованием можно обрабатывать такие специальные стали, цветные металлы и их сплавы, которые ввиду низкой пластичности (особенно в литом состоянии) другими видами обработки давлением деформировать невозможно или затруднительно.

Прессованием можно получать профили сложных форм (рис. 3.4, в), которые не могут быть получены другими видами обработки металлов давлением (в частности, прокаткой). Точность прессованных профилей выше, чем прокатанных.

Основное оборудование для прессования — это вертикальные или горизонтальные гидравлические прессы.

К *недостаткам* прессования следует отнести:

большие отходы металла: весь металл не может быть выдавлен из рабочей полости, в ней остается так называемый пресс-остаток

(массой до 40 % массы исходной заготовки — при прессовании труб большого диаметра);

интенсивный износ инструмента. Для уменьшения износа инструмент изготавливают из высококачественных инструментальных сталей и жаропрочных сплавов, а также применяют смазочные материалы, в частности жидкое стекло.

### 3.2.4. Волочение

**Волочение** — обработка металлов давлением. В результате волочения (протягивания — обычно в холодном состоянии) изделий круглого или фасонного профиля (прутков, труб и др.) через отверстие (*фильтру, волоку*), площадь выходного сечения становится меньше площади сечения заготовки (рис. 3.5).

На заводах для волочения прутков и труб используют продольно-волоочильные станы, а для волочения проволоки разных профилей, сматываемой в бухты, — барабанные станы.

Волочильные станы состоят из рабочего инструмента — волоки и устройства, протягивающего материал (заготовку) через волоку. Основная часть волоки — волочильный глазок, представляющий собой воронкообразный канал постепенно уменьшающегося (в направлении волочения) сечения, через который протягивается обрабатываемый металл. Волоку изготавливают из инструментальных сталей, металлокерамических сплавов и технических алмазов (для волочения проволоки диаметром менее 0,2 мм).

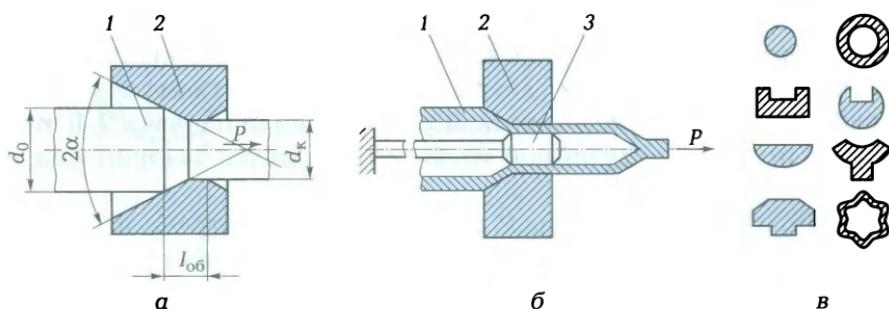


Рис. 3.5. Схемы волочения сплошных [а] и полых [б] заготовок и примеры фасонных профилей, полученных волочением [в]:

1 — заготовка; 2 — волока; 3 — оправка;  $d_0$  и  $d_k$  — диаметры прутка до и после волочения;  $2\alpha$  — угол сужения волоки;  $l_{об}$  — длина участка, на котором происходит обжатие;  $P$  — сила волочения

Волоку с одним волочильным глазком называют *фильерой*, с несколькими — *волочильной гоской*. Первые применяют на станах для однократного, вторые — для многократного волочения.

Исходными заготовками для волочения служат прокатанные или прессованные прутки и трубы из стали, цветных металлов и их сплавов.

Волочение применяют для заготовок сплошных (рис. 3.5, а) или полых деталей (рис. 3.5, б), сечение которых по всей длине постоянно. В зависимости от соотношения размеров заготовки и готового профиля волочение осуществляют за один или несколько проходов. Число проходов для получения заданного профиля определяется величиной допустимого относительного обжатия за один проход. Величину относительного обжатия, %, определяют по формуле (см. рис. 3.5, а)

$$\delta = \frac{F - f}{F} \cdot 100 = \frac{d_0^2 - d_k^2}{d_0^2} \cdot 100,$$

где  $F$  и  $f$  — площади поперечного сечения;  $d_0$  и  $d_k$  — диаметры прутка до и после волочения соответственно.

Если для получения необходимых профилей требуется деформация, превышающая допустимую за один проход, применяют волочение через ряд постепенно уменьшающихся по диаметру отверстий. Но поскольку волочение осуществляют в условиях холодной деформации, металл упрочняется. Для восстановления пластичности упрочненный волочением металл подвергают промежуточному отжигу.

Волочение труб можно выполнять без оправки (для уменьшения внешнего диаметра) и с оправкой (для уменьшения внешнего диаметра и толщины стенки). На рис. 3.5, б показана схема волочения трубы 1 с применением короткой удерживаемой оправки 3. В этом случае профиль полученной трубы определяется зазором между волокой 2 и оправкой 3.

Поскольку тянущая сила  $P$ , приложенная к заготовке, необходима не только для деформирования металла, но и для преодоления сил трения металла об инструмент, эти силы трения стараются уменьшить, применяя смазку и полируя отверстие в волоке.

Волочением обрабатывают различные сорта стали и цветные металлы: медь и ее сплавы, алюминий и его сплавы и др. Сортамент изделий, изготовляемых волочением, очень разнообразен (рис. 3.5, в): проволока диаметром 0,002...5 мм и фасонные про-

фили (призматические и фасонные направляющие; сегментные, призматические и фасонные шпонки; шлицевые валики; опорные призмы и ножи и т. д.). Волочением калибруют стальные трубы с диаметрами от капиллярных до 200 мм, стальные прутки с диаметрами 3... 150 мм.

Поскольку волочение проводят в условиях холодной деформации, оно обеспечивает точность размеров (стальная проволока диаметром 1... 1,6 мм имеет допуск 0,02 мм), низкую шероховатость поверхности, получение очень тонкостенных профилей.

### 3.2.5. Гибка

**Гибка** — способ обработки металлов давлением, при котором заготовке или ее части придается изогнутая форма. К гибке относят собственно гибку или гнутье (получение гнутых профилей), профилирование (гофрирование, изгибание), свертку (получение сварных труб), навивку пружин, правку и т. д.

Фасонные тонкостенные профили, легкие, но жесткие, весьма сложной конфигурации и большой длины можно получать методом профилирования листового материала в холодном состоянии. Процесс профилирования прокаткой на профилегибочных станах

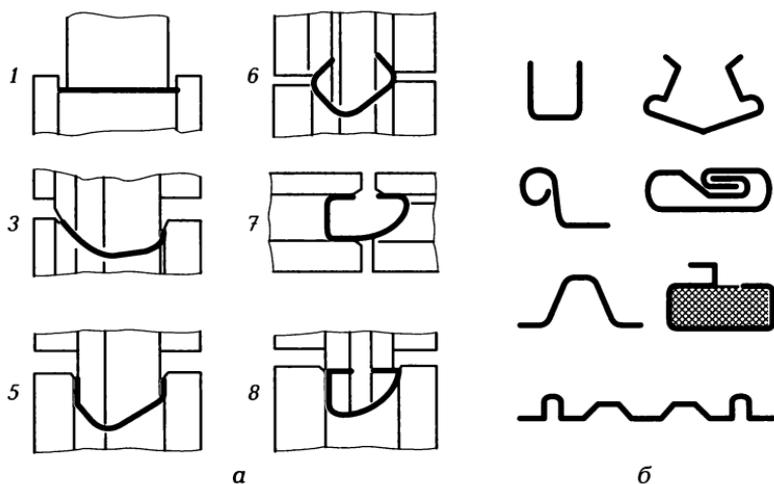


Рис. 3.6. Последовательность профилирования на профилегибочном стане (а) и примеры гнутых профилей (б):

1, 3, 5—8 — номера пар роликов (пары роликов 2 и 4 на рисунке не показаны)

заключается в постепенном изменении формы сечения плоской заготовки до требуемого профиля при последовательном прохождении полосы или ленты через несколько пар (6... 20 и более) вращающихся фигурных роликов. При данном методе площадь поперечного сечения и толщина исходной полосы или ленты практически не изменяются, т. е. происходит только последовательная гибка полосы или ленты в поперечном сечении.

На рис. 3.6, а показано последовательное изменение плоской заготовки до требуемого профиля на профилегибочном стане. Число пар роликов, необходимое для изготовления того или иного профиля, зависит от сложности его конфигурации. Заготовкой при изготовлении гнутых профилей может быть лента или полоса из стали или цветных металлов толщиной 0,3... 10 мм. Форма гнутых профилей (рис. 3.6, б) может быть и относительно простой (профиль открытого типа) и весьма сложной (профили полузакрытого; закрытого типа; с наполнителем).

Указанным способом получают большое количество изделий для машиностроения, автомобильной и авиационной промышленности, строительных конструкций.

## 3.3. ГОРЯЧАЯ КОВКА И ШТАМПОВКА

### 3.3.1. Виды поковок

*Поковкой* называют промежуточную заготовку или готовую деталь, полученную обработкой металлов давлением (ковкой или объемной штамповкой). Огромное разнообразие машиностроительных деталей и соответственно разнообразие форм и размеров поковок, сплавов, характера производства обусловило создание различных способов изготовления поковок.

Поковки могут быть сгруппированы по признакам, определяющим технологию их изготовления. Такие признаки — это масса, конфигурация, марка сплава и тип производства.

Масса поковок (от сотен граммов до сотен тонн) определяет тип заготовки, вид деформации и схему деформирования.

Исходные заготовки для получения поковок — слитки или сортовой прокат круглого, квадратного или прямоугольного сечения. Так как размеры поперечного сечения последнего ограничены, для получения поковок большой массы (от нескольких сотен килограммов) в качестве заготовок используют слитки.

Холодную деформацию используют для поковок малой массы (ориентировочно менее 1 кг).

Давления, необходимые для формоизменения нагретого металла, ниже, чем при холодной деформации. Поэтому для поковок с массой больше 1 кг применяют горячую деформацию.

Изготовление поковок можно осуществлять по схемам свободного пластического течения между поверхностями инструмента или затекания металла в полость штампа (возможно в сочетании с процессами выдавливания, ротационного обжатия). Для заполнения полости штампа необходимо давление, значительно превышающее давление при свободном пластическом течении металла. Вследствие этогоковки большой массы затруднительно изготавливать штамповкой. Для особо тяжелых поковок (массой до 250 т) единственно возможным способом изготовления является *ковка* — вид горячей обработки металлов давлением, при котором деформирование нагретой заготовки проводят, подвергая ее многократному прерывистому ударному воздействию последовательно на отдельных участках заготовки. В результате ударов заготовка, постепенно деформируясь, приобретает заданные размеры и форму. Металл свободно течет в стороны, не ограниченные рабочими поверхностями инструмента, в качестве которого применяют плоские или фигурные (вырезные) бойки, а также различный подкладной инструмент. Таким образом, при ковке используют универсальный (годный для изготовления различных поковок) инструмент, в то время как для штамповки требуется специальный инструмент — *штамп*. Изделия, полученные в штампах, называют *штамповками*, а изделия, полученные методами объемной штамповки, — *штамповочными поковками*. Изготовление штампа при небольшой партии одинаковых поковок экономически невыгодно. Поэтому в единичном и мелкосерийном производстве ковка обычно экономически более целесообразна. Чем больше партия одинаковых поковок, тем более специализированным может быть технологический процесс их изготовления, так как применение более сложного, а значит, более дорогого инструмента и специального оборудования экономически оправданно.

Представить общую достаточно строгую классификацию форм поковок трудно ввиду их большого разнообразия. Упрощенноковки можно подразделить, например, на такие группы: осесимметричные типа дисков и колес (рис. 3.7, а); втулок и колец (рис. 3.7, б), осесимметричные типа стаканов и втулок, продольный (вдоль оси) размер которых больше поперечных (рис. 3.7, в), осесимметричные типа валов и осей (рис. 3.7, г), длина которых вдоль оси больше

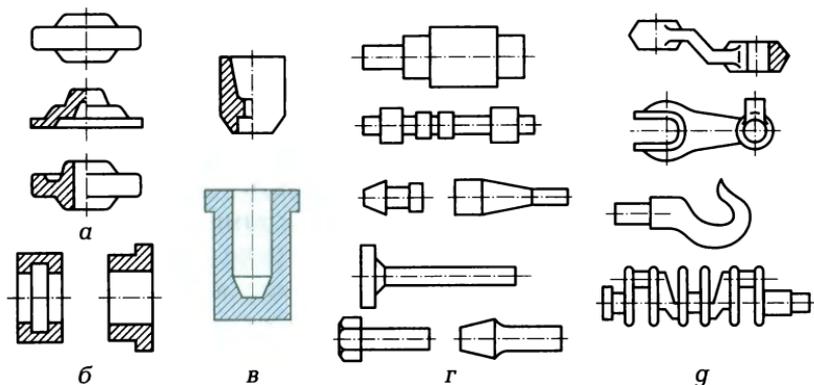


Рис. 3.7. Виды машиностроительных поковок:  
*a—г* — осесимметричные различных форм; *г* — неосесимметричные

поперечных размеров; неосесимметричные типа рычагов, вилок, крюков (рис. 3.7, *г*) с меньшим или большим соотношением габаритных размеров. К последней многочисленной группе относят поковки гаечных ключей, шатунов, звеньев гусениц тракторов, лопаток турбин, крюков грузоподъемных механизмов, коленчатых валов и др.

Кроме такого разделения поковок по типу деталей, при технологических расчетах по конфигурации поковки подразделяют на группы сложности. Критерием сложности поковки может быть отношение объемов поковки и описанной вокруг нее простой геометрической фигуры — призмы или цилиндра.

### 3.3.2. Ковка

Процесс ковки состоит из чередования в определенной последовательности основных и вспомогательных операций. Каждая операция определяется характером деформирования и применяемым инструментом.

К основным операциям ковки относятся осадка, высадка, протяжка, обкатка, раскатка, прошивка, отрубка, гибка.

**Осадка** — операция уменьшения высоты заготовки при увеличении площади ее поперечного сечения (рис. 3.8, *a—в*).

Осаживают заготовки между бойками или подкладными плитами, которые могут быть гладкими или с углублениями, отверстиями (соответственно осадка без истечения или с истечением). При осадке

основная масса металла свободно вытекает в стороны. Уменьшение толщины заготовки при ее осадке называется обжатием.

Показателем степени деформации металла при осадке  $\varepsilon$ , %, является относительное обжатие

$$\varepsilon = \frac{H_0 - H_k}{H_0} 100,$$

где  $H_0$  и  $H_k$  — соответственно начальная и конечная высота заготовки.

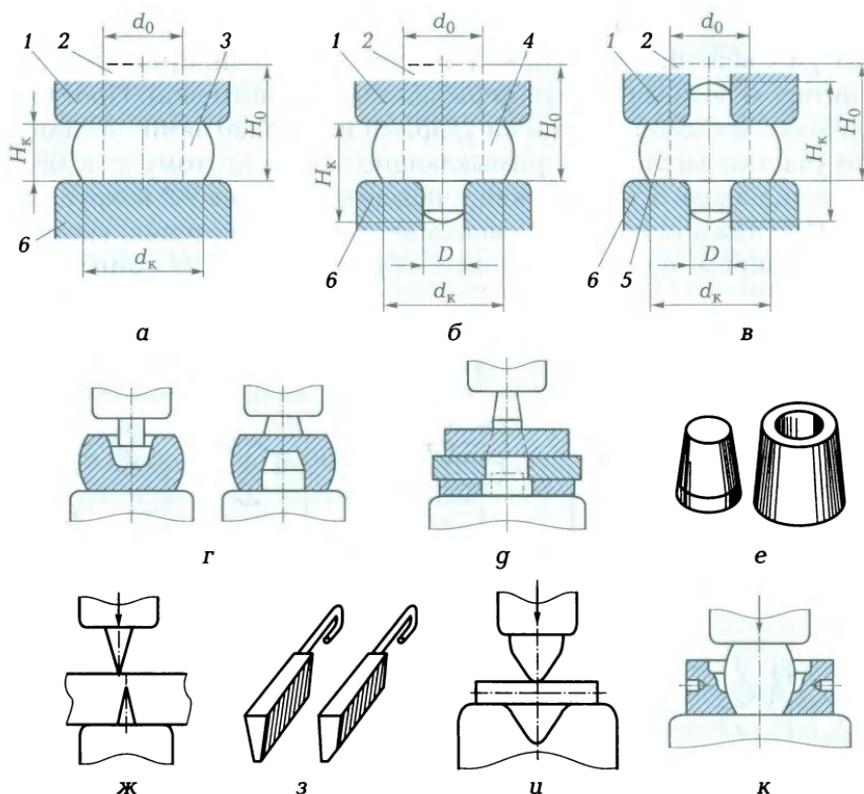


Рис. 3.8. Схемы операцийковки:

*а, б, в* — осадка без истечения и с истечением материала; *г* — двухсторонняя прошивка; *г* — сквозная прошивка; *е* — прошивки; *ж* — отрубка; *з* — топоры; *и* — гибка; *к* — штамповка в подкладных штампах; 1 — верхние плиты; 2 — заготовки; 3, 4 и 5 — поковки; 6 — нижние плиты;  $D$  — диаметры отверстий в плитах;  $d_0$  и  $d_k$  — диаметр соответственно заготовок и поковок;  $H_0$  и  $H_k$  — высота заготовки соответственно начальная и конечная

При осадке отожженных заготовок между плоскими плитами предельно допустимая степень деформации составляет для стали 60... 70 %, а для алюминия 80... 90 %, при осадке с истечением в полость — 70... 80 % для стали, 80... 90 % для алюминия.

Силу осадки при подборе пресса рассчитывают в меганьютонах по формуле

$$P = qF,$$

где  $q$  — удельное давление, МПа (для алюминия 100... 400 МПа, для стали 600... 1 300 МПа);  $F$  — площадь детали, м<sup>2</sup>.

**Высадка** — разновидность осадки (металл осаживают лишь на части длины заготовки).

**Протяжка** — операция удлинения заготовки или ее части за счет уменьшения площади ее поперечного сечения (на рис. 3.9, а пунктиром показан контур первоначальной заготовки). Протяжку проводят последовательными ударами или нажатиями на отдельные участки заготовки, примыкающие один к другому, с подачей заготовки вдоль оси протяжки и поворотами ее на 90° вокруг этой оси. При каждом нажатии уменьшается высота сечения, увеличиваются ширина и длина заготовки. Общее увеличение длины равно

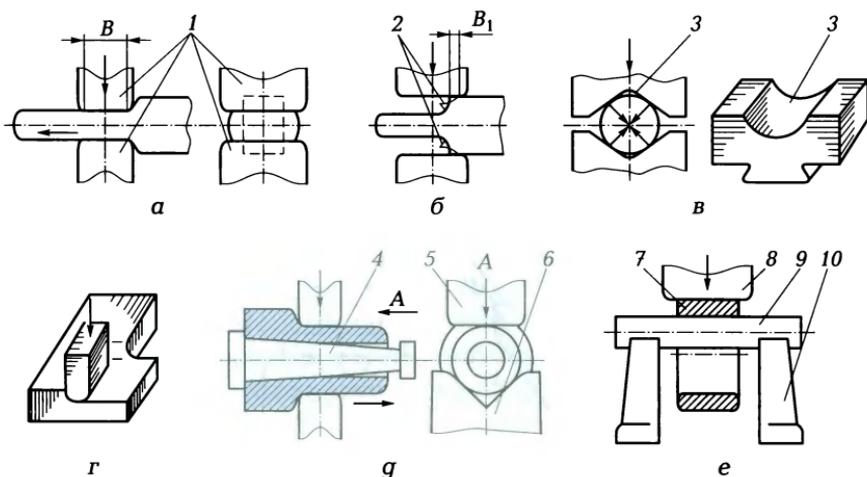


Рис. 3.9. Схемы протяжки и ее разновидностей:

а, б — протяжка плоскими бойками; в — протяжка вырезными бойками; г — разгонка бойками; г — протяжка с оправкой; е — раскатка на оправке: 1 — плоские бойки; 2 — зажим; 3 — вырез; 4 — коническая оправка; 5 и 6 — плоский и вырезной бойки; 7 — заготовка; 8 — боек; 9 — цилиндрическая оправка; 10 — подставка;  $B$  и  $B_1$  — ширина площади нажатия

сумме приращений длины за каждое нажатие, а уширение по длине одинаково. Если заготовку повернуть на  $90^\circ$  вокруг горизонтальной оси и повторить протяжку, то уширение, полученное в предыдущем проходе, устраняется, а длина заготовки снова увеличивается. Чем меньше подача заготовки при каждом нажатии, тем интенсивнее удлинение. Однако при слишком малой подаче могут получиться зажимы 2 (рис. 3.9, б).

Протягивать можно *плоскими* (см. рис. 3.9, а) и *вырезными* (рис. 3.9, в) бойками. При протяжке на плоских бойках в центре изделия могут возникнуть (особенно при протяжке прутка с круглым сечением) значительные растягивающие напряжения, которые приводят к образованию осевых трещин. При протяжке в вырезных бойках силы, направленные с четырех сторон к осевой линии заготовки, способствуют более равномерному течению металла и устранению возможности образования осевых трещин.

Деформация при протяжке может быть выражена величиной уковки

$$Y = F_n / F_k,$$

где  $F_n$  — начальная (большая) площадь поперечного сечения;  $F_k$  — конечная (меньшая) площадь поперечного сечения после протяжки.

Очевидно, чем больше уковка, тем лучше прокован металл, тем больше степень его пластической деформации, тем выше его механические свойства. Поэтому протяжку применяют не только для получения поковок с удлиненной осью (заготовки валов, рычагов, тяг и т. д.), но и (в чередовании с осадкой) — для большей уковки металла заготовки.

Рассмотрим разновидности протяжек.

*Разгонка* — операция увеличения ширины части заготовки за счет уменьшения ее толщины (рис. 3.9, г).

*Протяжка с оправкой* — операция увеличения длины пустотелой заготовки за счет уменьшения толщины ее стенок (рис. 3.9, г). Протяжку выполняют в вырезных бойках на конической оправке 4. Протягивают в одном направлении — к сужающемуся концу оправки, что облегчает ее удаление из поковки.

*Раскатка на оправке* — операция одновременного увеличения наружного и внутреннего диаметров кольцевой заготовки (цилиндра с отверстием) за счет уменьшения толщины ее стенок (рис. 3.9, е) и незначительного увеличения длины. Заготовка 7 опирается внутренней поверхностью на цилиндрическую оправку 9, устанавливаемую концами на подставках 10, и деформируется между

оправкой и узким длинным бойком 8. После каждого нажатия заготовку поворачивают относительно оправки.

Протяжку с оправкой и раскатку на оправке часто применяют совместно. Вначале раскаткой уничтожают бочкообразность предварительно осаженной и прошитой заготовки и доводят ее внутренний диаметр до требуемых размеров. Затем протяжкой с оправкой уменьшают толщину стенок и увеличивают до заданных размеров длину поковки.

**Прошивка** — операция получения полостей в заготовке за счет вытеснения металла (см. рис. 3.8, г). Прошивкой можно получить сквозное отверстие или углубление. Инструментом для прошивки служат прошивки (см. рис. 3.8, е) сплошные и пустотелые; последними прошивают отверстия большого диаметра (400 ... 900 мм). При сквозной прошивке сравнительно тонких поволоков применяют подкладные кольца (см. рис. 3.8, г). Более толстые поковки прошивают с двух сторон без подкладного кольца (см. рис. 3.8, г). Диаметр прошивки выбирают не более  $1/3 \dots 1/2$  наружного диаметра заготовки; при большем диаметре прошивки заготовка значительно искажается. Прошивка сопровождается *отходом (выгрой)*.

**Отрубка** — операция отделения части заготовки (см. рис. 3.8, ж) по незамкнутому контуру путем внедрения в заготовку деформирующего инструмента. Инструмент для отрубки — топоры различной формы (рис. 3.8, з).

Отрубку применяют для получения из заготовок большой длины нескольких коротких, для удаления излишков металла на концах поволоков, а также прибыльной и донной частей слитков и т. п.

**Гибка** — операция (см. рис. 3.8, и) придания заготовке изогнутой формы по заданному контуру. Этой операцией получают угольники, скобы, крючки, кронштейны и т. п. Гибка сопровождается искажением первоначальной формы поперечного сечения заготовки и уменьшением его площади в зоне изгиба, называемым утяжкой. Для компенсации утяжки в зоне изгиба заготовке придают увеличенные поперечные размеры. При гибке возможно образование складок по внутреннему контуру и трещин по наружному. Во избежание этого явления к заданному углу изгиба заготовки подбирают соответствующий радиус скругления.

Перечисленными операциямиковки трудно изготовить поковки с относительно сложной конфигурацией. Поэтому при изготовлении небольшой партии таких поволоков применяют так называемую штамповку в подкладных штампах (см. рис. 3.8, к). Подкладной штамп может состоять из одной или двух частей, в которых имеется полость с конфигурацией поковки или ее отдельного участка.

В подкладных штампах можно изготавливать головки гаечных ключей, диски со ступицей, втулки с буртиком и другие поковки.

Чертеж поковки составляют на основании разработанного конструктором чертежа готовой детали с учетом припусков, допусков и напусков (рис. 3.10). **Припуск** — это толщина поверхностного слоя металла поковки, подлежащего удалению обработкой резанием (снятием стружки) для получения требуемых размеров и качества поверхности готовой детали. Размеры детали увеличивают на величину припусков в местах, которые подлежат обработке резанием. Припуск зависит от размеров поковки, ее конфигурации, типа оборудования, применяемого для изготовления поковки, и пр. Чем больше размеры поковки, тем больше припуск.

**Допуск** — допустимое отклонение от номинального размера поковки, проставленного на ее чертеже, т. е. разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами поковки. Допуск назначают на все размеры поковки.

Конфигурацию поковки иногда упрощают за счет **напусков** — объема металла, добавляемого к поковке сверх припуска для упрощения ее формы и, следовательно, процессаковки. Напуски удаляют последующей обработкой резанием.

Припуски, допуски и напуски назначают в строгом соответствии со стандартом.

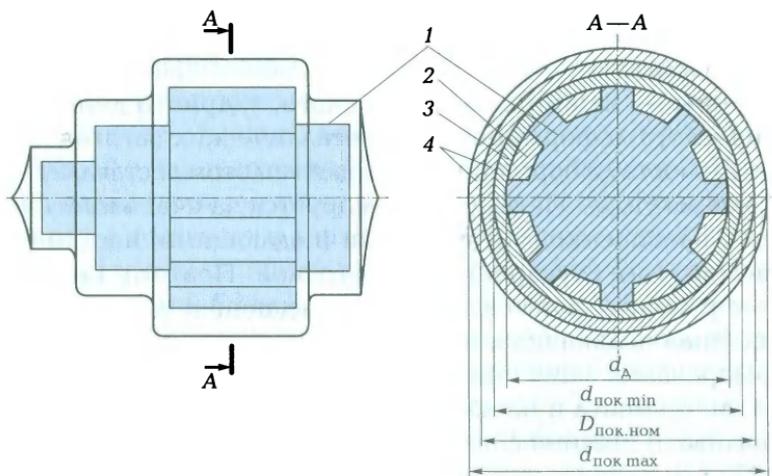


Рис. 3.10. Чертеж поковки для детали с основными размерами, напуском, припуском и допуском:

1 — готовая деталь; 2 — напуск; 3 — припуск; 4 — допуск;  $d_A$ ,  $d_{\text{пок}}$  — диаметры детали и поковки (минимальный, номинальный и максимальный)

Выбор заготовки осуществляют по ее массе, которая может быть подсчитана по формуле

$$m_{\text{заг}} = m_{\text{пок}} + m_{\text{пр}} + m_{\text{дн}} + m_{\text{уг}} + m_{\text{от}},$$

где  $m_{\text{заг}}$  — масса исходной заготовки;  $m_{\text{пок}}$  — масса поковки, подсчитываемая как произведение объема поковки на плотность металла;  $m_{\text{пр}}$  — масса отхода с прибыльной частью слитка;  $m_{\text{дн}}$  — масса отхода с донной частью слитка;  $m_{\text{уг}}$  — масса отхода, соответствующего угару при нагреве;  $m_{\text{от}}$  — масса технологических отходов.

Отходы с прибыльной частью составляют 14...30 %, а с донной — 4...7 %; на угар — в среднем 2...2,5 % массы нагреваемого металла при нагреве холодной заготовки и 1,5 % при каждом подогреве. Технологические отходы (обрубки, выдры и т. п.) зависят от формы поковки и принятой последовательностиковки. При ковке из прокатанной заготовки отходы с прибыльной и донной частью слитка отсутствуют. Размеры поперечного сечения заготовки выбирают с учетом обеспечения необходимой уковки. Достаточной уковкой для слитков считается 2,5...3, а для проката можно принимать 1,3...1,5.

Оборудование дляковки выбирают в зависимости от режимаковки данного металла или сплава, массы поковки и ее конфигурации. Необходимую мощность оборудования обычно определяют по приближенным формулам или справочным таблицам.

Ковку выполняют на ковочных молотах и ковочных гидравлических прессах.

**Молоты** — машины динамического, ударного действия для пластического деформирования металлических заготовок. Продолжительность деформации заготовки молотом составляет тысячные доли секунды. Металл деформируется за счет кинетической энергии, накопленной подвижными (падающими) частями молота к моменту их соударения с заготовкой. Поэтому при выборе молотов руководствуются массой их падающих частей. Энергия, накопленная падающими частями молота, не вся расходуется на деформирование заготовки. Часть ее теряется на упругие деформации инструмента и на колебания шабота — детали, на которую устанавливают нижний боек. Чем больше масса шабота, тем больше КПД. Практически масса шабота бывает в 15 раз больше массы падающих частей (КПД удара  $\eta_{\text{уд}} = 0,8 \dots 0,9$ ).

Один из основных типов молотов дляковки — это паровоздушные молоты. Такие молоты приводят в действие паром или сжатым воздухом под давлением 0,7...0,9 МПа. В зависимости от конструк-

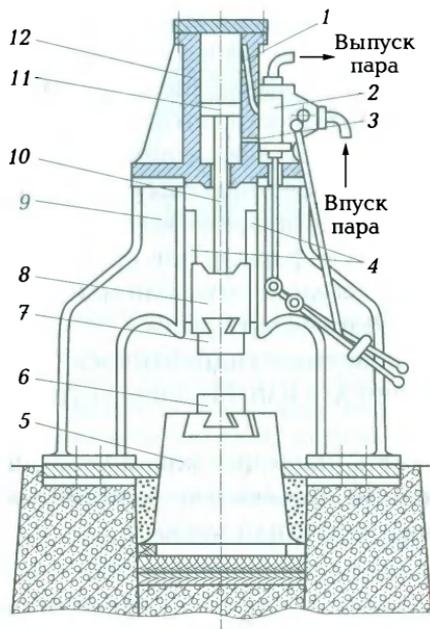


Рис. 3.11. Схема паровоздушного молота арочного типа:

1 и 3 — каналы; 2 — парораспределительное устройство; 4 — направляющие; 5 — шабот; 6 — нижний боек; 7 — верхний боек; 8 — баба; 9 — станина; 10 — шток; 11 — поршень; 12 — цилиндр

ции станины паровоздушные ковочные молоты бывают арочные, мостовые и одностоечные.

На станине 9 арочного молота (рис. 3.11) смонтирован рабочий цилиндр 12 с парораспределительным устройством 2. При нажатии на педаль или рукоятку управления сжатый пар или воздух по каналу 1 поступает в верхнюю полость цилиндра 12 и давит на поршень 11, соединенный штоком 10 с бабой 8, к которой прикреплен верхний боек 7. В результате падающие части 11, 10, 8 и 7 перемещаются вниз и наносят удары по заготовке, уложенной на нижний боек 6, неподвижно закрепленный на массивном шаботе 5. При подаче сжатого пара по каналу 3 в нижнюю полость цилиндра 12 падающие части поднимаются в верхнее положение. Перемещение бабы 8 происходит в направляющих 4. В ковочных молотах станина 9 и шабот 5 закреплены на фундаменте по отдельности, так как для того чтобы манипулировать заготовками и кузнечным инструментом, необходимо иметь доступ к бойкам со всех сторон.

Молоты могут совершать удары с разной энергией, зажимать поковки между бойками и удерживать бабу на весу. Ковочные паровоздушные молоты строят с массой падающих частей 1 000... 8 000 кг. На этих молотах изготавливают поковки со средней массой (20... 350 кг), преимущественно из прокатанных заготовок.

**Гидравлические прессы** — машины статического действия, продолжительность деформации на них может составлять от единиц до десятков секунд. Металл деформируют, прилагая силы, создаваемые с помощью жидкости (водной эмульсии или минерального масла), подаваемой в рабочий цилиндр прессы.

Отечественные ковочные гидравлические прессы (с усилием 5... 100 МН) применяют для изготовления крупных поковок в основном из слитков.

Последовательность операцийковки устанавливают в зависимости от конфигурации поковки и технологических требований на нее, вида заготовки (слиток или прокат).

### 3.3.3. Горячая объемная штамповка

**Штампом** называют инструмент для придания заготовке заданной конфигурации с помощью **штамповки** — пластической деформации заготовки давлением либо разделения ее на части.

Наличие большого разнообразия форм и размеров заготовок, а также сплавов, из которых их сделали, обусловило создание различных способов штамповки. Так как в процессе штамповки характер пластического течения металла в заготовке определяется типом штампа, то этот признак можно считать основным для классификации способов штамповки. В зависимости от типа штампа выделяют штамповку в открытых и закрытых штампах.

**Штамповка в открытых штампах** (рис. 3.12, а) характеризуется переменным зазором между подвижной и неподвижной частями штампа. В этот зазор вытекает часть металла — *облой* (заусенец), который закрывает выход из полости штампа и заставляет остальной металл целиком заполнить всю полость. В конечный момент деформирования в облой выжимаются излишки металла, находящиеся в полости, что позволяет не предъявлять высоких требований к точности заготовок по массе. Облой затем обрезают в специальных штампах. Штамповкой в открытых штампах можно получать поковки практически всех типов (см. рис. 3.7).

**Штамповка в закрытых штампах** (рис. 3.12, б, в) характеризуется тем, что полость штампа в процессе деформирования остается

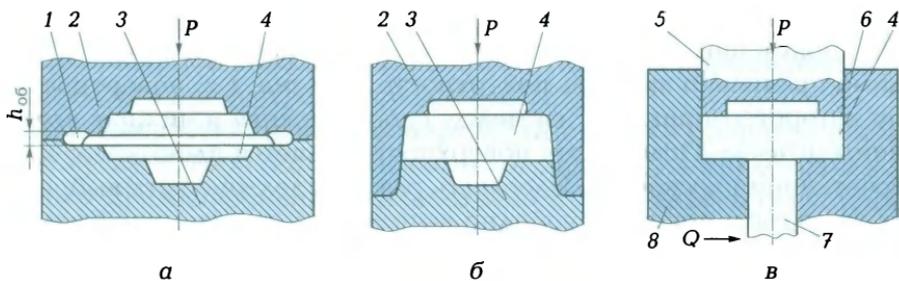


Рис. 3.12. Схемы штамповки в открытых (а) и закрытых (б, в) штампах:

а, б — штампы состоят из двух частей; в — штамп состоит из неподвижной части матрицы и двух подвижных частей (пуансона и подвижной части матрицы): 1 — облая канавка; 2 и 3 — подвижная и неподвижная части матрицы; 4 — поковка; 5 — пуансон; 6 и 8 — неподвижная и подвижная части матрицы; 7 — пруток;  $h_{об}$  — высота облая;  $P$  — усилие пуансона;  $Q$  — усилие движущейся половины матрицы

закрытой. Зазор между подвижной и неподвижной частями штампа при этом постоянный и небольшой, так что образование облая в нем не предусмотрено. Устройство таких штампов зависит от типа машины, на которой штампуют. Нижняя половина штампа может иметь полость, а верхняя — выступ (на прессах), или наоборот (на молотах). Закрытый штамп может иметь две взаимно-перпендикулярные плоскости разъема, т. е. состоять из трех частей. Такой штамп применяют, в частности, в горизонтально-ковочных машинах.

При штамповке в закрытых штампах необходимо соблюдать равенство объемов заготовки и поковки, иначе при недостатке металла не заполняются углы полости штампа, а при избытке размер поковки по высоте будет больше требуемого. Следовательно, отрезка заготовок должна быть высокоточной. В этом случае процесс получения заготовки усложняется. Как правило, штамповкой в закрытых штампах получают диски, колеса, втулки и кольца. Достоинство штамповки в закрытых штампах — уменьшение расхода металла, поскольку нет отхода в облой. Поковки, полученные в закрытых штампах, имеют более благоприятную структуру, так как волокна металла обтекают контур поковки, а не перерезаются в месте выхода металла в облой. При штамповке в закрытых штампах металл деформируется в условиях всестороннего неравномерного сжатия при больших сжимающих напряжениях, чем в открытых штампах. Это позволяет получать большие степени деформации и штамповать малопластичные сплавы.

К штамповке в закрытых штампах можно отнести *штамповку выдавливанием и прошивкой*, так как штамп в этих случаях выполняют по типу закрытого и отхода в заусенец не предусматривают.

**Чертежи поковки** (рис. 3.13) составляют по чертежу детали. При получении поковки в открытом штампе прежде всего необходимо правильно выбрать поверхность разъема, т. е. поверхность, по которой соприкасаются между собой верхняя и нижняя половины штампа. Обычно эта поверхность является плоскостью или сочетанием плоскостей. Плоскость разъема должна быть выбрана такой, чтобы поковка свободно вынималась из штампа. В целях облегчения заполнения металлом полости штампа желательно выбрать плоскость разъема таким образом, чтобы полости штампов имели наименьшую глубину.

При штамповке возможен сдвиг одной половины штампа относительно другой (см. рис. 3.12, в). Чтобы легко контролировать такой сдвиг, плоскость разъема должна пересекать вертикальную поверхность поковки. Желательно плоскость разъема располагать так, чтобы естественные уклоны поковки облегчили ее извлечение из штампа.

На размеры поковки устанавливают допуски, припуски на механическую обработку назначают главным образом на сопрягаемые поверхности детали. Чтобы облегчить заполнение полости штампа и извлечение из нее поковки, боковые поверхности последней должны иметь штамповочные уклоны (для стальных поковок в пре-

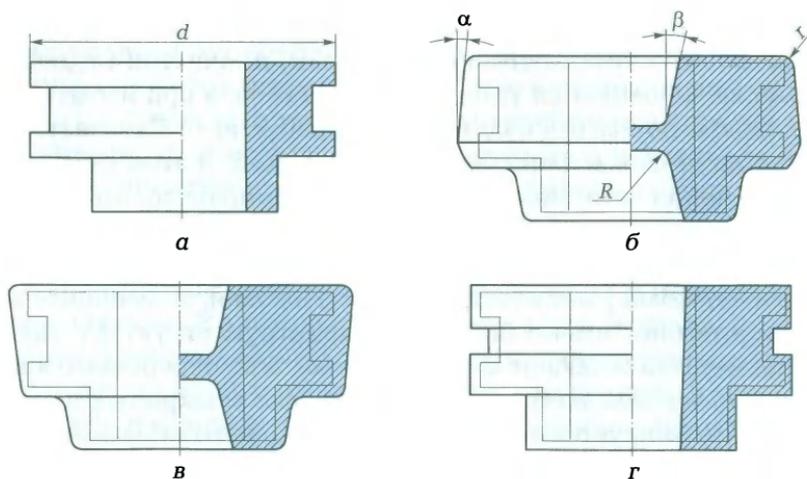


Рис. 3.13. Примеры составления чертежа поковки:

*a* — деталь; *б* — поковка при штамповке в открытом штампе; *в* — то же, в закрытом штампе с одной плоскостью разъема; *г* — то же, в закрытом штампе с двумя плоскостями разъема; *d* — диаметр детали;  $\alpha$ ,  $\beta$  — штамповочные уклоны; *г*, *R* — наружный и внутренний радиусы скругления

делах  $3 \dots 10^\circ$ ). Для наружных поверхностей поковки (вследствие температурной усадки) штамповочные уклоны  $\alpha$  принимают меньшими, чем для внутренних  $\beta$  (см. рис. 3.13, б).

Все пересекающиеся поверхности поковки сопрягаются по радиусам. Это необходимо полости штампа для предохранения его от преждевременного износа и поломок. Радиусы скругления зависят от глубины полости. Внутренние радиусы  $R$  скругления в 3—4 раза больше, чем наружные радиусы  $r$ , равные обычно 1...6 мм.

При штамповке в штампах с одной плоскостью разреза нельзя получить сквозное отверстие в поковке, поэтому наносят только наметку отверстия с перемычкой-пленкой (см. рис. 3.13, б, в), удаляемой впоследствии в специальных штампах. Штамповкой не всегда можно получить полностью требуемую конфигурацию поковки, поэтому на отдельных участках поволоков могут быть сделаны напуски, упрощающие их форму.

Увеличив все размеры спроектированной поковки на величину усадки, получают чертеж горячей поковки, по которому изготавливают полость штампа. При штамповке в открытых штампах вдоль внешнего контура полости выполняют специальную облойную канавку  $l$  штампа (см. рис. 3.12, а).

Для обеспечения хорошего заполнения металлом полости штампа и повышения его стойкости особенно большое значение имеет толщина облоя  $h_{об}$ , которую, как и другие размеры облойной канавки, подсчитывают по формулам в зависимости от конфигурации поковки. Чертеж поковки при штамповке в закрытых штампах с одной плоскостью разреза составляют так же, как при штамповке в открытых, но плоскость разреза выбирают по торцевой наибольшей поверхности детали (см. рис. 3.13, в).

Составление чертежа поковки при штамповке в закрытых штампах с двумя взаимно-перпендикулярными плоскостями разреза имеет свои специфические особенности. Прежде всего наличие двух плоскостей разреза не требует на поковках напусков там, где они необходимы в штампах с одной плоскостью разреза. Штамповочные уклоны назначают значительно меньшего размера или их можно совсем не предусматривать.

Проектируя деталь, следует стремиться к наименьшей разности в площадях поперечных сечений на различных участках длины детали, избегать тонких стенок, высоких ребер, длинных отростков и тонких приливов, примыкающих к плоскости разреза.

Необходимо проверять в каждом отдельном случае целесообразность изготовления деталей из двух или нескольких частей с по-

следующей сваркой и, наоборот, целесообразность объединения в одной поковке смежных деталей.

Заготовками для горячей штамповки в большинстве случаев служит прокат круглого, квадратного, прямоугольного профилей, а также периодический. При этом прутки разрезают на отдельные (мерные) заготовки, хотя иногда штампуют из прутка, в последующем отделяя поковку непосредственно на штамповочной машине. Мерные заготовки отрезают от прутка различными способами: на кривошипных пресс-ножницах, механическими пилами, газовой резкой и т.д. Поковки простой конфигурации, не имеющие большой разности сечений по высоте (длине), обычно штампуют в штампах с одной полостью, т.е. в одноручьевых штампах.

**Ручей** — углубление (полость) на соприкасающихся областях штампа, форма которого соответствует будущей форме заготовки, которую она должна иметь после обработки в этом ручье.

Фасонные поковки получают путем последовательной формовки в различных ручьях.

Фасонную заготовку чаще всего получают в заготовительных ручьях штампов. Этот способ в зависимости от характера производства осуществляют либо в одном многоручьевом штампе (рис. 3.14), либо в нескольких одноручьевых, установленных на отдельных штамповочных машинах. В первом случае в одном блоке располо-

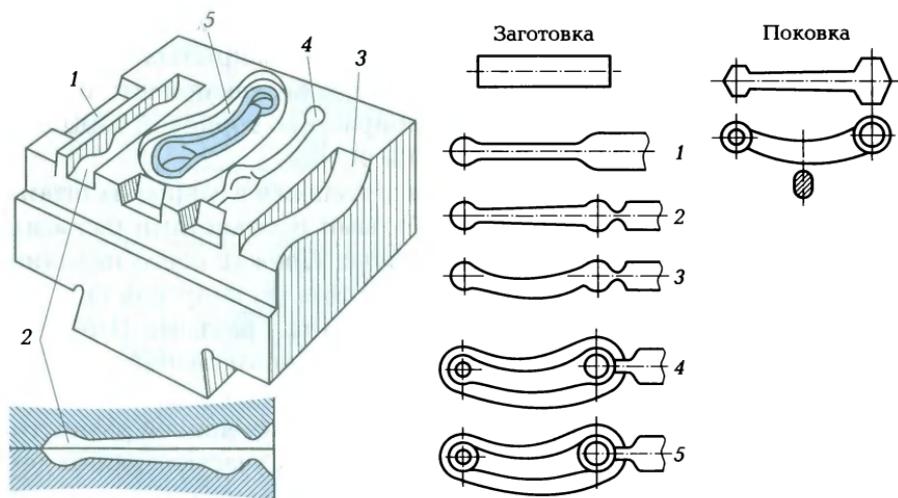


Рис. 3.14. Многоручьевой штамп:

1 — протяжной ручей; 2 — подкатной ручей; 3 — гибочный ручей; 4 — черновой ручей; 5 — чистовой ручей

жены и полости (ручьи) для получения фасонной заготовки, и ручьи для окончательного формообразования поковки.

Ручьи в многоручьевых штампах подразделяют на заготовительные и штамповочные.

К заготовительным ручьям, служащим для получения фасонной заготовки, относятся протяжной, подкатной, гибочный, площадка для осадки и др.

*Протяжной ручей* служит для увеличения длины отдельных участков заготовки за счет уменьшения площади их поперечного сечения. Ручей выполняют в форме бойков, образующих порог протяжного ручья; деформация заготовок в нем аналогична операции протяжки на плоских бойках при ковке. Из протяжного ручья в зависимости от конфигурации поковки заготовка может поступать в штамповочный ручей или другие заготовительные ручьи.

*Подкатной ручей* служит для местного увеличения сечения заготовки (набора металла) за счет уменьшения сечения рядом лежащих участков, т. е. для распределения объема металла вдоль оси заготовки в соответствии с распределением его в поковке. При обработке в подкатном ручье заготовку вращают вокруг оси после каждого удара.

*Гибочный ручей* применяют только при штамповке поковок, имеющих изогнутую ось; он служит для придания заготовке формы, соответствующей форме поковки в плоскости разъема. Из гибочного ручья в следующий ручей заготовку передают с поворотом на 90° вокруг продольной оси поковки.

При штамповке поковок, имеющих в плане форму окружности или близкую к ней, часто применяют осадку исходной заготовки до требуемых размеров по высоте и диаметру. Для этой цели на плоскости штампа предусматривают площадку для осадки.

К штамповочным ручьям относят *окончательный (чистовой) ручей* и *предварительный (черновой)*. Чистовой ручей служит для получения готовой поковки и по конфигурации точно соответствует горячей поковке. Назначение черного ручья заключается в основном в снижении износа чистового. При наличии черного ручья в нем происходит основное формообразование, в чистовом же ручье получают требуемые размеры поковки. Черновой ручей применяют при штамповке поковок сложной конфигурации. За отдельными исключениями форму полости черного ручья принимают такой же, как у чистового, но радиусы скруглений и уклоны увеличивают, а поперечные размеры в плоскости разъема устанавливают немного меньше размера в полости чистового ручья. При штамповке в открытых штампах черновой ручей облойной канавки не имеет.

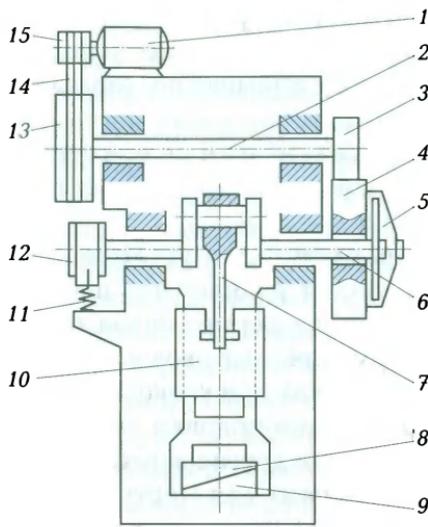


Рис. 3.15. Кинематическая схема горячештамповочного кривошипного прессы:

1 — электродвигатель; 2 — приемный вал; 3 и 4 — малое и большое зубчатые колеса; 5 — муфта; 6 — кривошипный вал; 7 — шатун; 8 — стол прессы; 9 — клин; 10 — ползун; 11 — тормоз; 12, 13 и 15 — шкивы; 14 — клиновые ремни

В многоручьевом штампе чистовой ручей расположен в центре штампа, так как при штамповке наибольшее усилие возникает в нем. По краям штампа располагают ручки, в которых деформирующие силы штамповки наименьшие, чтобы уменьшить эксцентрично приложенную на штамповочное оборудование нагрузку.

Для горячей объемной штамповки применяют следующее оборудование: молоты, горячештамповочные кривошипные прессы, горизонтально-ковочные машины, гидравлические прессы и машины для специализированных процессов штамповки. Процессы штамповки на этих машинах имеют свои особенности, обусловленные устройством и принципом их действия.

В качестве примера рассмотрим работу горячештамповочного кривошипного прессы (рис. 3.15).

От электродвигателя 1 через шкив 15 и клиновые ремни 14 вращательное движение передается на шкив 13, сидящий на приемном (промежуточном) валу 2, на другом конце которого закреплено малое зубчатое колесо 3. Это колесо находится в зацеплении с большим зубчатым колесом 4, свободно вращающимся на кривошипном валу 6.

С помощью пневматической фрикционной дисковой муфты 5 зубчатое колесо 4 может быть сцеплено с кривошипным валом 6:

тогда последний придет во вращение. Посредством шатуна 7 вращение кривошипного вала преобразуется в возвратно-поступательное движение ползуна 10.

Для остановки вращения кривошипного вала 6 после выключения муфты 5 служит тормоз 11. Стол прессы 8, установленный на наклонной поверхности, может перемещаться в вертикальном направлении клином 9 и тем самым в незначительных пределах регулировать высоту штампового пространства.

Для облегчения удаления поковки из штампа прессы имеют выталкиватели в столе и ползуне. Выталкиватели срабатывают при ходе ползуна вверх.

### 3.3.4. Ротационное обжатие

В основе этих способов лежит процесс обжатия (радиальная деформация) прутковой или трубной заготовки при вращении инструмента или заготовки.

При обжатии инструментом заготовки очаг пластической деформации имеет локальный характер и постоянно перемещается по заготовке, вследствие чего усилие, действующее на инструмент, меньше, чем при штамповке, что позволяет изготавливать поковки большей массы (например, заготовки вагонных осей) с высокой точностью, так как упругие деформации при меньших усилиях меньше.

**Вальцовкой (вальцеванием)** называют деформирование прутковых (или полосовых) заготовок в ковочных вальцах (штампах, вращающихся в противоположные стороны). При вальцовке на двух валах закрепляют вальцы — секторные штампы, имеющие ручки 4 (рис. 3.16, а).

Нагретую заготовку 2 подают до упора 1 в тот момент, когда секторные штампы 3 расходятся. Затем валы сходятся, захватывая заготовку и обжимают ее штампами 3 по форме полости; одновременно с обжатием заготовка выталкивается штампами в сторону подачи.

На вальцах изготавливают поковки сравнительно несложной конфигурации, типа звеньев цепей, рычагов, гаечных ключей и т. п. Кроме того, на вальцах фасонируют заготовки для последующей штамповки, чаще всего на кривошипных горячештамповочных прессах.

Профилируют и штампуют на вальцах в одном или нескольких ручьях. Исходное сечение заготовки принимают равным максималь-

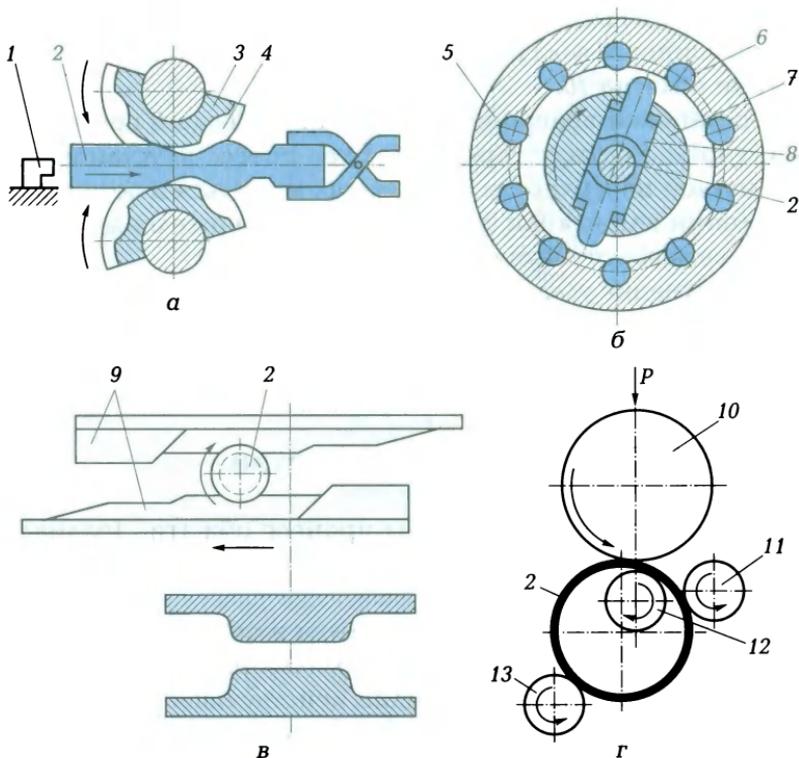


Рис. 3.16. Схемы действия ковочных вальцов [а], ротационно-ковочной машины [б], станков поперечно-клиновой прокатки [в] и раскатки [г]:

1 — упор; 2 — заготовка; 3 — секторные штампы; 4 — ручей; 5 — обойма; 6 — ролики; 7 — шпиндель; 8 — бойки; 9 — плоскоклиновые плиты; 10 — быстровращающийся валок; 11 — направляющий ролик; 12 — валок; 13 — контрольный ролик;  $P$  — усилие прижима

ному сечению поковки, так как при вальцовке происходит главным образом протяжка.

**Редуцированием** называют способ формообразования давлением сплошных и полых деталей — тел вращения переменного сечения вдоль оси. Редуцирование методом ротационного обжатия осуществляют как в горячем, так и в холодном состоянии на ротационно-ковочных машинах. На этих машинах происходит деформирование (радиальное обжатие), подобное операции протяжки и заключающееся в местном обжатии заготовки по ее периметру. Заготовку 2 (рис. 3.16, б) в виде прутка или трубы помещают в отверстие между бойками 8 машины, находящимися в шпинделе 7. Бойки могут свободно скользить в радиально расположенных пазах шпинделя.

При вращении шпинделя ролики 6, помещенные в обойме 5, будут толкать бойки 8, которые наносят удары по заготовке 2. В исходное положение бойки возвращаются под действием центробежных сил. Существуют машины, у которых вместо шпинделя с бойками вращается обойма с роликами; в этом случае для возвратного движения ползунов служат пружины.

В машинах первого типа получают поковки, имеющие форму тел вращения, в машинах второго — квадратного, прямоугольного и других сечений.

Типовыми поковками, изготавливаемыми радиальным обжатием, являются различного рода ступенчатые цилиндрические или конические валики, трубы с оттянутыми на конус концами и т. п.

Поперечно-клиновой прокаткой (рис. 3.16, в) получают заготовки валов и осей с резкими ступенчатыми переходами диаметром от 12 до 130 мм. Деформирование можно осуществлять инструментом в виде двух валков, валка и сегмента или двух плоских плит. Наиболее рационален плоскоклиновой инструмент 8, который прост в изготовлении и обеспечивает получение валов сложной конфигурации с высокой точностью: допуски на диаметральные размеры 0,2...0,4 мм, на линейные — 0,3...0,5 мм. Заготовка 2 из круглого прокатанного прутка после нагрева автоматически перемещается в рабочую зону плоскоклиновых плит 9, закрепленных в подвижных салазках стана. Далее заготовка прокатывается между двумя плоскоклиновыми плитами 9, совершающими прямолинейное движение.

**Раскаткой** получают кольцевые заготовки на раскаточных машинах. Особенно широко раскатку применяют при производстве колец подшипников (рис. 3.16, г). Заготовка 2 представляет собой кольцо с меньшим диаметром и большей толщиной стенки, чем у поковки. При подведении к заготовке 2, надетой на валок 12, быстровращающегося валка 10 заготовка 2 и валок 12 начинают вращаться. При дальнейшем сближении валков 12 и 10 увеличивается наружный диаметр заготовки за счет уменьшения ее толщины и происходит ее контакт с направляющим роликом 11, обеспечивающим получение поковки правильной кольцевой формы. После касания поковкой контрольного ролика 13 раскатка прекращается.

Раскаткой получают поковки колец с поперечными сечениями различной формы (зависящими от профиля валков), наружным диаметром 70...700 мм и шириной 20...180 мм. Заготовки под раскатку штампуют на горизонтально-ковочных машинах или молотах.

**Горячая накатка зубчатых колес** широко применяется, в частности, в автомобильной и тракторной промышленности. Сущность

процесса — обкатка нагретой штучной или прутковой заготовки в зубчатых валках.

Зубчатый валок получает принудительное вращение и радиальное перемещение. Благодаря радиальному усилию зубчатый валок, постепенно вдавливаясь в заготовку, формирует на ней зубья.

После накатки прутковой заготовки ее разрезают на отдельные шестерни на полуавтоматических установках.

Изготовление зубчатых колес методом горячего накатывания повышает износостойкость и усталостную прочность зубьев на 30... 50 %. Это объясняется, в частности, благоприятной макроструктурой, при которой волокна металла обтекают контуры зубьев. Расход металла на 18... 40 % меньше, чем при получении зубьев на зубонарезных станках, а производительность полуавтомата для накатки выше производительности зубонарезного оборудования.

Схемы накатывания зубчатых колес приведены в гл. 10.

## 3.4. ХОЛОДНАЯ ШТАМПОВКА

### 3.4.1. Листовая штамповка

Холодную штамповку проводят без предварительного нагрева заготовки (при условиях холодной деформации).

Разнообразные операции холодной штамповки по характеру деформации объединяют в две группы: *разделительные* и *формоизменяющие*.

К разделительным относят операции, в результате которых происходит полное или частичное отделение одной части материала от другой по замкнутому или незамкнутому контуру, а к формоизменяющим — операции, в результате которых происходят изменение формы и размеров заготовки, перераспределение и заданное перемещение объема металла.

Помимо этих двух основных групп операций, для снижения трудоемкости, для повышения производительности и точности используют сложные операции и комбинированную штамповку, характеризующиеся объединением нескольких простых операций в одном штампе или на многопозиционном прессе.

**Раскрой материала.** Под общим наименованием «раскрой материала» следует понимать разметку расположения штампуемых заготовок (деталей) на металлической полосе, ленте, листе и последующее вырубание (или высечку) их из металла полосы и т. д.

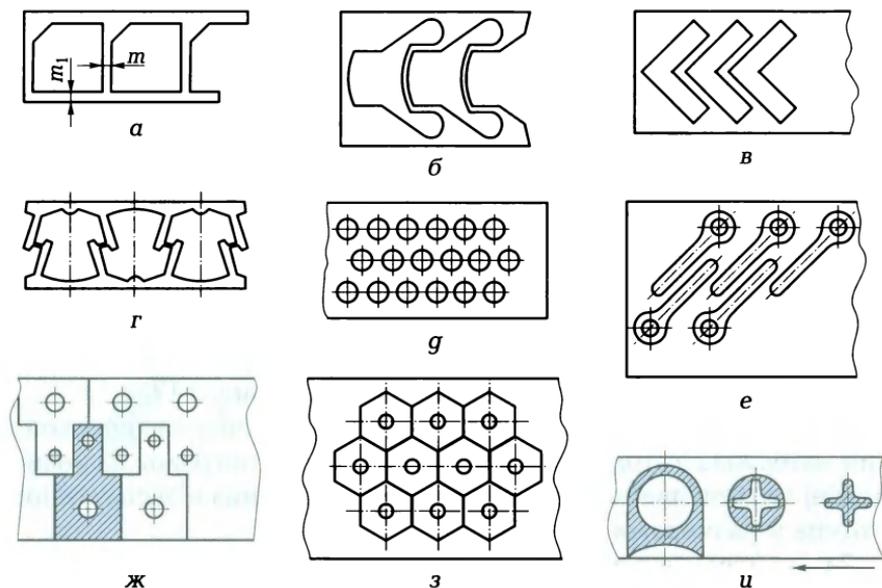


Рис. 3.17. Типы раскроя:

*a—г* — с отходами, однорядовая раскладка; *г, e* — с отходами, многорядовая раскладка, с применением «линейного эффекта»; *ж, з* — многорядовая раскладка без отходов и с частичными отходами соответственно; *и* — последовательность выполнения различных операций; *m* и *m<sub>1</sub>* — ширина перемычек (отходов) по контуру вырезаемой детали (заготовки)

Существует три типа раскроя: с отходами (перемычками) по всему контуру вырезаемой детали (заготовки); с частичными отходами по краям и торцам полосы (ленты); без отходов.

Раскрой с отходами (рис. 3.17, *a—e*) применяют для получения простых по форме деталей повышенной точности (9-го и 10-го квалитетов), а также независимо от точности для деталей сложной формы, а раскрои без отходов и с частичными отходами (рис. 3.17, *ж—з*) применяют для простых по форме деталей низкой точности (12—14-го квалитетов).

Показателем, характеризующим раскрой, является коэффициент использования материала  $\eta$ , %, рассчитываемый по формуле

$$\eta = \frac{NF}{BL} 100,$$

где *N* — число деталей, штампуемых из листа, полосы, ленты; *F* — площадь детали (без вычета из нее площади отверстий, если по-

следние имеются), мм<sup>2</sup>;  $B$  и  $L$  — ширина и длина ленты (полосы, листа), мм.

Перемычки между деталями и краем полосы (ленты) и деталью (см. рис. 3.17, а) зависят от толщины и марки материала, формы и размеров вырубаемых деталей и выбираются из справочников. Значение величины перемычек и раскладки деталей на полосе (ленте) позволяет определить ширину последней. При раскладке деталей неправильной геометрической формы следует добиваться так называемого «линейного эффекта», при котором экономия материала достигается благодаря заходу деталей друг в друга (см. рис. 3.17, б, в, г). Последовательность операций раскроя при изготовлении различных деталей представлена на рис. 3.17, и.

Многорядовая раскладка (см. рис. 3.17, г) с точки зрения экономии материала выгоднее однорядовой. Количество рядов на полосе (ленте) ограничивается удорожанием изготовления и эксплуатации штампа и размерами стола прессы.

**Разделительные операции.** К разделительным операциям относятся отрезка, вырезка, вырубка, пробивка, надрезка и обрезка.

**Отрезка** — отделение одной части материала от другой по незамкнутому контуру производится на ножницах или в штампах.

Ножницы для отрезки листового материала бывают параллельные (режущие кромки ножниц параллельны друг другу), гильотинные, дисковые (роликовые) и вибрационные (рис. 3.18).

Параллельные, гильотинные и роликовые с прямо поставленными ножами ножницы применяют для прямолинейной отрезки, а дисковые с наклонно поставленными ножами и вибрационные ножницы — для криволинейной резки и вырезки деталей (заготовок) с замкнутым контуром.

Отрезку металлов, кроме магния и титана марки ВТ6, толщиной более 1,5 мм проводят в холодном состоянии. Неметаллические материалы типа гетинакса, текстолита, оргстекла перед отрезкой следует нагревать в печах инфракрасного облучения, резину, фибру, картон — увлажнять. Точность отрезки на гильотинных и дисковых ножницах соответствует 12—14-му качеству.

Отрезку в штампах используют для малогабаритных деталей. Точность отрезки в штампах по размерам в направлении перемещения полосы для материала толщиной до 3 мм соответствует 12-му качеству, толщиной 3...5 мм — 14-му качеству.

**Вырубка и пробивка.** *Вырубка* — отделение части материала по замкнутому наружному контуру, когда отделяемая часть является изделием, *пробивка* — отделение части материала по внутреннему

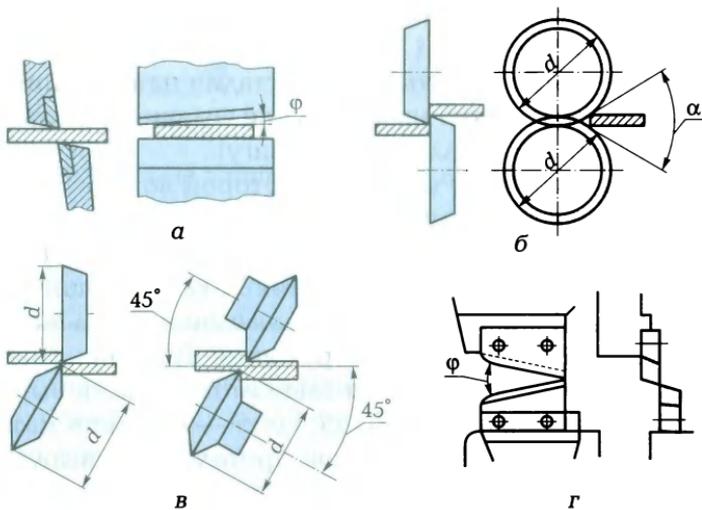


Рис. 3.18. Схемы ножниц:

*a* — гильотинные; *б* — дисковые с прямо поставленными ножами; *в* — дисковые с наклонно поставленными ножами; *г* — вибрационные;  $\phi$  — угол створа ножниц;  $\alpha$  — угол захвата дисковых ножниц; *d* — диаметр диска

замкнутому контуру, когда отделяемая часть является отходом. И после вырубki, и после пробивки отделенные части могут быть заготовками для последующей обработки.

Три стадии вырубki и пробивки показаны на рис. 3.19, *a*, *б* и *в*.

1. Стадия упругих деформаций, во время которой под давлением пуансона *1* происходит упругое сжатие и изгиб металла полосы *2* с легким вдавливанием его в отверстие матрицы *3* (возникает «тарельчатость» детали). При этом напряжения в металле полосы *2* не превосходят предела упругости.

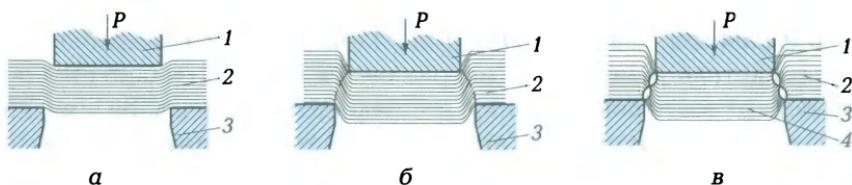


Рис. 3.19. Последовательность вырубki и пробивки:

*a* — стадия упругих деформаций; *б* — стадия пластических деформаций; *в* — стадия скалывания: *1* — пуансон; *2* — полоса; *3* — матрица; *4* — деталь; *P* — сила давления пуансона

2. Стадия пластических деформаций, в течение которой происходит вдавливание пуансона 1 в полосу 2 и выдавливание металла в отверстие матрицы 3. К концу этой стадии напряжения вблизи режущих кромок достигают максимальной величины, соответствующей сопротивлению металла срезу (сдвигу).

3. Стадия скалывания, в течение которой возникают сначала микро-, а затем макротрещины, образующиеся у режущих кромок пуансона и матрицы, направленных по линии наибольших деформаций сдвига (поверхностям скольжения). Скалывающиеся трещины быстро распространяются на внутренние слои металла и вызывают отделение детали 4. Величина погружения пуансона в металл до появления скалывающихся трещин зависит от свойств вырубемого металла и составляет  $(0,2 \dots 0,6)S$ , где  $S$  — толщина материала. При дальнейшем движении пуансон проталкивает вырубленную деталь 4 через рабочую зону матрицы, и она падает в тару. Как и указывалось, скалывающиеся трещины, идущие от режущих кромок пуансона и матрицы, направлены под некоторым углом. Чтобы они совпали по направлению, необходим зазор между пуансоном и матрицей. Угол наклона скалывающихся трещин зависит от свойств вырубемого металла и составляет от 3 до  $15^\circ$ . Чем тверже металл, тем больше угол наклона скалывающихся трещин. Отметим, что при вырубке весьма хрупких металлов, в частности закаленной стали, при погружении пуансона в металл на 10 % его толщины процесс вырубki заканчивается. При этом размеры вырубленной детали оказываются меньше размера матрицы, так как трещины скалывания не доходят до ее режущих кромок.

Из сказанного ранее следует, что поверхность среза у вырубленной детали или пробитого отверстия имеет форму конуса. Чистый срез поверхности, удовлетворительная стойкость штампов и минимальные заусенцы по кромке детали или отверстия зависят от правильного выбора зазора между пуансоном и матрицей.

Зазор зависит от механических свойств обрабатываемого металла и равен 5...20 % его толщины. При вырубке с увеличенным зазором деталь значительно искривляется и имеет сильно скошенную поверхность скалывания. При недостаточном зазоре у вязких металлов обнаруживается двойная система трещин скалывания с блестящими поясками между ними, а у твердых — скол с вырывом изнутри.

В массовом и серийном производстве используют инструментальные штампы, а в мелкосерийном — упрощенные и универсально-наладочные штампы.

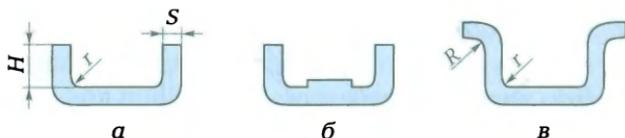


Рис. 3.20. Оформление деталей, получаемых гибкой:

*а, б* — с прямыми вертикальными полками без канавок и с канавками соответственно; *в* — с вертикальными и горизонтальными полками;  $H$  — высота плоского участка поковки;  $S$  — толщина материала;  $R, r$  — наружный и внутренний радиусы скругления

Точность вырубки и пробивки в инструментальных штампах обычно соответствует 10—12-му квалитетам, а в универсальных — 12—14-му квалитетам.

Точность расстояния между отверстиями составляет  $\pm 0,05$  мм и более.

**Надрезку**, т. е. отделение части материала по незамкнутому контуру без ее удаления, применяют главным образом для создания на деталях таких элементов, как язычки и другие подобные им элементы. Надрезку осуществляют пуансоном с косо расположенной режущей плоскостью.

**Обрезку** применяют для удаления неровных краев у полых деталей после вытяжки, формовки, отбортовки, выдавливания, а также для удаления излишков материала (заусенца) после операции объемной штамповки. Обрезку проводят в штампах и на специальных станках дисковыми ножами.

**Формоизменяющие операции.** К формоизменяющим операциям холодной штамповки относятся гибка, вытяжка, листовая формовка, комбинированная штамповка.

**Гибку** (см. подразд. 3.2.5) при холодной листовой штамповке проводят в штампах на кривошипных, эксцентриковых, фрикционных прессах; на специальных ручных и механизированных устройствах для гибки и на специальных гибочных станках.

Некоторые примеры оформления деталей, получаемых гибкой, приведены на рис. 3.20.

Наблюдения за процессом гибки (рис. 3.21) показывают, что слои металла, расположенные ближе к внутренней поверхности *aa*, испытывают сжатие, а слои, расположенные у внешней поверхности *bb* — растяжение.

В результате гибки заготовки, имеющей незначительное отношение  $B/S$  (ширины к толщине материала), ее сечение искажается (рис. 3.21, *а*): ширина  $B_1$  вблизи внутренней поверхности загибаемо-

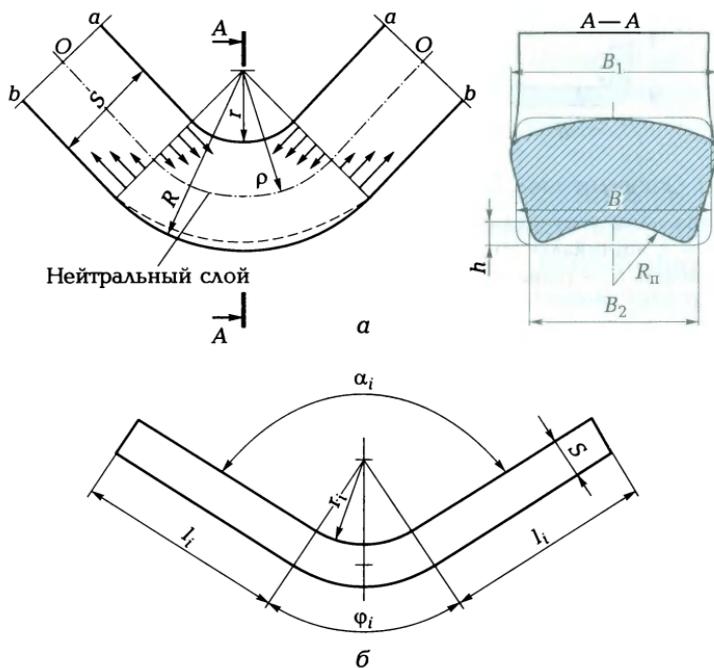


Рис. 3.21. Схемы процесса гибки (а) и расчета развертки деталей, получаемых гибкой (б):

$aa$  — внутренняя поверхность угла;  $OO$  — нейтральный слой;  $bb$  — внешняя поверхность угла;  $S$  — толщина заготовки;  $r, R$  — внутренний и наружный радиусы гибки;  $r$  — радиус нейтрального слоя;  $B, B_1, B_2$  — ширина заготовки на различных участках сечения  $A-A$ ;  $R_n$  — радиус поперечной кривизны;  $\alpha_i$  — угол изгиба;  $\varphi_i$  — угол, ограничивающий изгибаемую часть;  $r_i$  — радиус закругления пуансона;  $l_i$  — длина  $i$ -го прямолинейного участка; - - - - — смещение внешней поверхности при гибке; тонкая линия на сечении  $A-A$  — начальное (до гибки) сечение заготовки в месте будущего изгиба

го угла увеличивается, ширина  $B_2$  вблизи наружной поверхности — уменьшается и образуется поперечная кривизна с радиусом  $R_n$ . Кроме того, в местах изгиба несколько уменьшается толщина  $S$  (см. пунктир внизу изгиба). Иначе говоря, в сечении вместо прямоугольника получается искривленная трапеция. При гибке широких заготовок уменьшается только толщина  $S$  (происходит утончение), искажения же поперечного сечения ничтожны.

Механические свойства материала в зоне гибки изменяются, материал наклепывается.

Между растянутыми и сжатыми волокнами (слоями) металла находится нейтральный слой  $OO$ , который, претерпевая изгиб, не изменяет первоначальной длины. Нейтральный слой проходит не по

середине сечения изгибаемой заготовки, а в зависимости от величины отношения  $r/S$  смещается в сторону малого радиуса  $r$ . Радиус нейтрального слоя при изгибе листовых заготовок ориентировочно определяют по формуле

$$\rho = r + xS,$$

где  $r$  — внутренний радиус гибки, мм;  $x$  — коэффициент смещения нейтрального слоя.

В зависимости от отношения  $r/S$  коэффициент  $x$  имеет следующие значения:

$r/S$ ....	0,1	0,2	0,3	0,5	0,8	1,0	1,5	2	3	5	10
$x$ .....	0,28	0,31	0,34	0,37	0,4	0,415	0,44	0,45	0,47	0,48	0,5

Сказанное относится к определению положения нейтрального слоя деформации, от этого слоя следует отличать нейтральный слой напряжений, в котором происходит перемена напряжений (сжатие-растяжение). Нейтральные слои напряжений и деформаций не совпадают.

Положение нейтрального слоя напряжений можно рассчитать по формуле

$$\rho_n = \sqrt{Rr} = r\sqrt{1 + \alpha S/r},$$

где  $\rho_n$  — радиус кривизны нейтрального слоя, мм;  $\alpha$  — коэффициент утончения ( $\alpha = S_1/S$ , здесь  $S$  — начальная толщина;  $S_1$  — толщина заготовки в зоне гибки, мм);  $R$  — наружный радиус гибки, мм.

Процесс гибки сопровождается упругой деформацией, что приводит к искажению формы детали. Явление изменения формы детали после гибки получило условное наименование пружинения. Пружинение приводит к необходимости корректирования рабочих частей штампа. Величина пружинения зависит от ряда факторов: свойств материала детали, ее толщины, радиуса гибки, формы детали, типа штампа и др. Чем выше предел текучести изгибаемого металла, чем больше отношение  $r/S$  и меньше толщина  $S$ , тем больше пружинение при прочих равных условиях. Пружинение обычно определяют опытным путем.

При расчете размеров развертки для деталей, получаемых гибкой, возможны два случая: детали с  $r > 0,1S$  (гибка с закруглением) и детали с  $r < 0,1S$  (гибка без закругления). Длина  $L$  развертки для детали, подвергнутой одноугловой гибке, при  $r \gg 0,1S$  (рис. 3.21, б) по нейтральному слою деформаций составляет

$$L = l_1 + l_2 + \frac{\pi\varphi}{180}(r + xS).$$

Для случая многоугловой гибки

$$L = \sum l_i + \sum \frac{\pi \varphi_i}{180} (r_i + x_i S) \approx \sum l_i + \sum 0,017 \varphi_i (r_i + x_i S).$$

Значения  $l_i$ ,  $r_i$ ,  $\alpha_i$  и  $\varphi_i = 180^\circ - \alpha_i$  показаны на рис. 3.21, б. Значения  $x_i$  приведены ранее.

Длину развертки при  $r < 0,1S$  рассчитывают по формуле

$$L = \sum_{i=1}^n l_i + kS(n-1),$$

где  $l_i$  — длина прямых участков, мм;  $n$  — число прямых участков;  $k$  — коэффициент (при радиусе закругления пуансона  $r_i = 0,05S$  коэффициент  $k = 0,58 \dots 0,48$ , а при  $r_i = 0,1S$   $k = 0,45 \dots 0,48$ ).

Расчитанные размеры разверток деталей, особенно подвергаемые гибке с малым радиусом, подлежат уточнению опытом.

Детали (заготовки), имеющие простой профиль в поперечном или продольном сечении, получают путем однопереходной гибки. Детали (заготовки) сложного профиля (или простого профиля, но требующие гибки как в продольном, так и в поперечном сечении) в зависимости от характера производства, их габаритных размеров, деталей, имеющегося оборудования изготавливают путем однопереходной гибки в сложном штампе или за несколько операций гибки в простых штампах.

Точность при гибке в штампах зависит от ряда факторов: формы и размеров детали, однородности механических свойств и толщины заготовки, числа операций, наличия калибровочной операции после гибки, способа фиксации заготовки, точности изготовления штампа и других факторов.

**Вытяжка** — превращение плоской или полый заготовки в полную деталь любой формы. Вытяжку проводят в штампах на эксцентриковых<sup>1</sup> прессах, кривошипных прессах простого действия (см. рис. 3.15: движение передается пуансону) или двойного действия (движение передается и пуансону, и прижиму). Трудоемкость процесса вытяжки зависит от соотношения размеров, характеризующих поперечное сечение и высоту деталей; радиусов сопряжения дна, стенок и фланца<sup>2</sup>; конфигурации фланца и материала.

<sup>1</sup> **Эксцентрик** — цилиндрическая (или в виде диска) деталь машины, ось ее вращения не совпадает с геометрической осью.

<sup>2</sup> **Фланец** — соединительная часть труб (валов и т.д.) в виде плоского кольца или диска с отверстиями для болтов и шпилек.

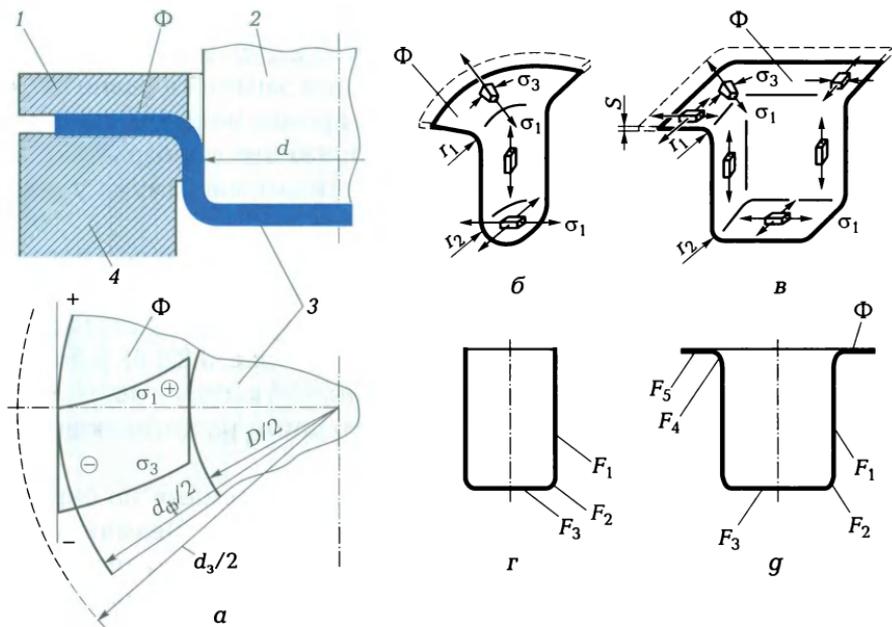


Рис. 3.22. Распределение нормальных напряжений во фланце круглой заготовки при вытяжке из нее цилиндрической детали (а); напряженное состояние в различных зонах вытягиваемой заготовки (б — трубчатой; в — корычатой) и схемы к расчету размеров заготовок тел вращения без фланца (г) и с фланцем (д):

1 — прижим; 2 — пуансон; 3 — заготовка; 4 — матрица;  $\Phi$  — фланцы;  $\sigma_1$  и  $\sigma_3$  — соответственно растягивающие и сжимающие напряжения;  $d$  — диаметр пуансона;  $D$  — диаметр отверстия детали;  $d_\Phi$  — наружный диаметр фланца;  $d_3$  — диаметр заготовки;  $F_1$ — $F_5$  — площади элементарных поверхностей;  $r_1, r_2$  — скругления при фланцевой и донной частях детали;  $S$  — толщина детали

**Вытяжка без утоньшения стенок (прямая) в инструментальных штампах.** При прямой вытяжке из плоской заготовки цилиндрической полой детали пуансон вталкивает материал в матрицу, в результате чего наружный диаметр заготовки непрерывно уменьшается (на рис. 3.22, а, б, в пунктиром показаны начальные (до вытяжки) контуры заготовки; сплошной линией (сверху) — контуры фланцев  $\Phi$  после вытяжки).

Во фланце  $\Phi$  заготовки возникают нормальные напряжения  $\sigma_1$ , действующие в радиальном направлении, в котором заготовка растягивается, и нормальные напряжения  $\sigma_3$ , действующие в окружном направлении, в котором заготовка сжимается.

Значения напряжений  $\sigma_1$  и  $\sigma_3$  зависят от отношения диаметра  $d$  заготовки к диаметру  $D$  отверстия детали. Чем отношение  $d/D$  боль-

ше, тем напряжение выше. Напряжения во фланце  $\Phi$  заготовки распределяются неравномерно (см. рис. 3.22, *а*). Растягивающее напряжение  $\sigma_1$  (пренебрегая трением) у края заготовки равно нулю и увеличивается по мере приближения к кромке матрицы, где и достигает максимума. Сжимающее же напряжение  $\sigma_3$  возрастает по мере удаления от кромки матрицы и достигает максимума у края заготовки.

Значения сжимающих напряжений  $\sigma_3$ , возникающих в вертикальном направлении от действия силы прижима, незначительны и ими пренебрегают, считая, что фланец имеет плоскую разнотенную схему напряженного состояния (см. рис. 3.22, *б*). Дно вытягиваемой детали имеет плоскую одноименную схему напряженного состояния, характеризуемую небольшими растягивающими напряжениями.

На фланце действуют равномерно распределенные по окружности продольные растягивающие напряжения. Величина их определяется значением радиальных растягивающих (идеальных) напряжений  $\sigma_1$ ; дополнительными вредными напряжениями, связанными с трением от действия силы прижима  $I$ ; трением и изгибом при перемещении заготовки через вытяжное ребро матрицы. Растягивающие напряжения вызывают утончение стенок детали у дна, а сжимающие напряжения во фланце  $\Phi$  — утолщение стенок у кромки. Напряженно-деформированное состояние при вытяжке цилиндрических деталей — осесимметричное.

При вытяжке коробчатых деталей напряженно-деформированное состояние более неравномерно, чем при вытяжке цилиндрических деталей.

Сжимающие силы при относительно тонком материале заготовки и большой степени деформации будут образовывать складки на поверхности той части детали, которая расположена на матрице. При малой степени деформации и тонком материале заготовки или при толстом материале и даже значительной степени деформации складкообразования практически нет.

Для предупреждения складкообразования заготовку нужно прижимать к поверхности матрицы. Прижим усложняет процесс вытяжки, вызывая необходимость использовать прессы двойного действия (или более сложные по конструкции штампы для прессы простого действия).

*Обратную вытяжку* применяют для получения средних по размеру цилиндрических полых деталей с двойной стенкой (рис. 3.23, *а*) для объединения двух операций вытяжки в одну. При этом вторая вытяжка происходит в направлении, обратном первой, и сопро-

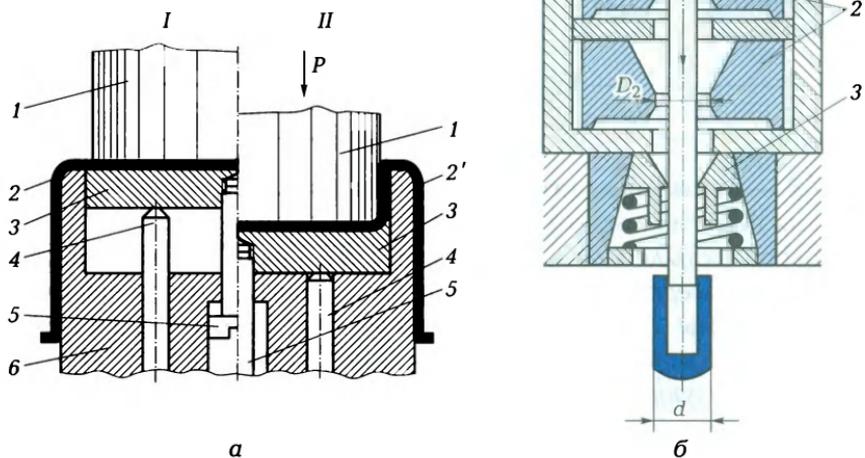


Рис. 3.23. Схемы штампов:

*а* — для обратной вытяжки: 1 — пуансон; 2 — заготовка; 2' — полученное изделие; 3 — плита; 4 — выталкиватель; 5 — винт; 6 — матрица; *I* — до рабочего хода пуансона; *II* — после завершения рабочего хода пуансона; *б* — для вытяжки с утоньшением: 1 — пуансон; 2 — матрицы; 3 — съемник;  $D_1$  и  $D_2$  — диаметры отверстий матриц;  $d$  — диаметр изделия

водится выворачиванием заготовки для подготовки к вытяжке ступенчатого полого колпачка. Обратную вытяжку используют также при изготовлении тонкостенных деталей сферической и параболической формы, когда требуется создать большой радиальный натяг материала.

При *вытяжке с утоньшением* (рис. 3.23, б) в матрицу закладывают заготовку, имеющую вид колпачка. Пуансон 1 заходит в колпачок с небольшим зазором и проталкивает его через одну (иногда две) расположенные друг над другом матрицы 2. Так как диаметр рабочей части матриц меньше наружного диаметра заготовки, а зазор между пуансоном и матрицей меньше толщины ее стенок при вытяжке изменяется сечение вытягиваемой детали (т. е. уменьшаются и диаметр, и толщина стенки колпачка) и одновременно увеличивается ее длина.

Непосредственно за матрицами устанавливают съемник 3. При обратном ходе пуансона вытянутая деталь упирается в нижнюю кромку съемника и снимается с пуансона.

*Тела вращения, вытягиваемые без утоньшения.* Форма заготовки — круг. Диаметр заготовки рассчитывают, исходя из равенства поверхностей заготовки и детали (рис. 3.22, г, г), полученной после вытяжки (без отверстий и с учетом припуска на обрезку), по формуле

$$d_0 = \sqrt{\frac{4}{\pi}(F_1 + F_2 + \dots + F_n)} = 1,13\sqrt{\Sigma F},$$

где  $\Sigma F$  — сумма элементарных поверхностей  $F_1, F_2, \dots, F_n$ , составляющих вытягиваемую деталь, мм<sup>2</sup>.

Поверхность детали можно определить и на основании **правила Гюльгена**: *поверхность тела вращения, описываемая кривой произвольной формы при вращении ее вокруг оси, лежащей в плоскости этой кривой и не пересекающей ее, равна произведению глины кривой (образующей) на глину окружности (направляющей), описываемой центром масс  $C$  кривой:*

$$F = 2\pi x_c L,$$

где  $x_c$  — расстояние от центра тяжести образующей до оси, мм;  $L$  — длина кривой (образующей), мм.

Диаметр заготовки рассчитывают по наружным размерам детали, если  $S < 1,0$  мм, и по средним размерам, если  $S > 1,0$  мм.

*Тела вращения, вытягиваемые с утоньшением.* Форма заготовки — круг. Диаметр заготовки рассчитывают исходя из равенства объема заготовки и детали, полученной после вытяжки (с учетом припуска на обрезку), по формуле

$$d_0 = \sqrt{\frac{4 V_3}{\pi S}} = 1,13\sqrt{\frac{V_3}{S}},$$

где  $V_3$  — объем детали, полученный после вытяжки с учетом припуска на обрезку;  $S$  — толщина детали.

Формулы для определения размеров квадратных, прямоугольных и полых деталей других форм приведены в справочной литературе.

*Степень деформации при вытяжке цилиндрических деталей без фланца* (см. рис. 3.22, г). В зависимости от соотношения высоты и диаметра вытягиваемой детали, а также от относительной толщины заготовки вытяжка может быть осуществлена за одну или несколько операций.

Для определения необходимого числа операций при вытяжке цилиндрических деталей без фланца наиболее распространен расчет по коэффициентам вытяжки, которые характеризуют допустимую

**Таблица 3.1. Рекомендуемые значения коэффициентов вытяжки**

Материал	$m_1$ (первая операция)	$m_2...m_n$ (вторая и последующие операции)
Сталь декопированная	0,54...0,58	0,75...0,78
Сталь 08кп	0,52...0,54	0,68...0,72
Сталь Х13	0,56...0,58	0,75...0,78
Сталь 1Х18Н9	0,50...0,52	0,70...0,75
Латунь Л62	0,52...0,54	0,70...0,72
Латунь Л68	0,50...0,52	0,68...0,72
Алюминий АМЦ	0,52...0,55	0,70...0,75
Дуралюмин Д164	0,52...0,58	0,75...0,8

величину деформации. Следует отметить, что этот метод — приближенный. Более точен, но вместе с этим и трудоемок, что исключает его использование в цеховых условиях, — это метод, основанный на определении действительных напряжений, возникающих при вытяжке, и использующий основные законы теории пластичности.

Суммарный коэффициент вытяжки  $m = d_n/d_0$ , где  $d_n$  — наружный диаметр вытягиваемой детали, мм;  $d_0$  — диаметр заготовки, мм.

Вычислив значение коэффициента вытяжки, сопоставляют его с минимально допустимым коэффициентом вытяжки при первой операции, приведенным в табл. 3.1.

Если окажется, что суммарный коэффициент вытяжки, рассчитанный для данных конкретных  $d_n$  и  $d_0$ , меньше табличного  $m_1$  для первой операции вытяжки, вытянуть деталь за одну операцию невозможно.

При вытяжке детали за несколько операций необходимо установить коэффициенты вытяжки для каждой отдельной операции так, чтобы их произведение было равно итоговому коэффициенту вытяжки, т. е.

$$m_1 m_2 \dots m_{n-1} m_n = m,$$

где  $m_1 = d_1/d_0$  — коэффициент вытяжки после первой операции;  $m_2 = d_2/d_1$  — коэффициент вытяжки после второй операции;  $m_n = d_n/d_{n-1}$  — коэффициент вытяжки после  $n$ -й операции.

Число необходимых операций вытяжки рассчитывают по формуле

$$n \approx 1 + \frac{\lg \frac{1}{m} - \lg \frac{1}{m_1}}{\lg \frac{1}{m_2}} = \frac{\lg d_n - \lg m_1 d_0}{\lg m_2} + 1,$$

где  $m_1$  и  $m_2$  — коэффициенты вытяжки согласно табл. 3.1.

В справочной литературе приводят данные об особенностях вытяжки цилиндрических деталей с фланцем, конических деталей, о вытяжке колпачков с утончением стенок, вытяжке коробчатых и фасонных изделий.

**Листовая формовка** — группа операций, характеризуемых местными изменениями формы заготовки или полуфабриката без преднамеренного изменения толщины. К таким операциям относятся рельефная формовка, формовка растяжением, обжим, правка, разбортовка.

**Рельефная формовка** (рис. 3.24) — процесс получения местных выступов или углублений за счет растяжения материала заготовки. Примеры рельефной формовки — формовка ребер жесткости, пуклевка (набивание углублений). Рельефную формовку обычно осуществляют за одну операцию, исключение составляет пуклевка прямоугольного и трапецеидального сечения, проводимая обычно за две, а иногда и более операции.

**Формовка растяжением** — процесс расширения полых деталей или трубчатых заготовок за счет растяжения материала заготовки внутренним давлением.

Формовку осуществляют упругим пуансоном (из резины, упругой пластмассы или резиновым мешком, наполненным жидкостью) в разъемной матрице (рис. 3.25, а), или жестким секционным пуансоном без матрицы (рис. 3.25, б). Степень деформации при формовке растяжением выражается коэффициентом растяжки

$$m_p = d_p/d_0,$$

где  $d_p$  — наибольший диаметр после растяжки;  $d_0$  — исходный диаметр цилиндрической заготовки.

Значения  $m_p$  для пластических металлов не должны превосходить 1,2.

Заготовки, получаемые вытяжкой, перед формовкой растяжением следует отжигать.

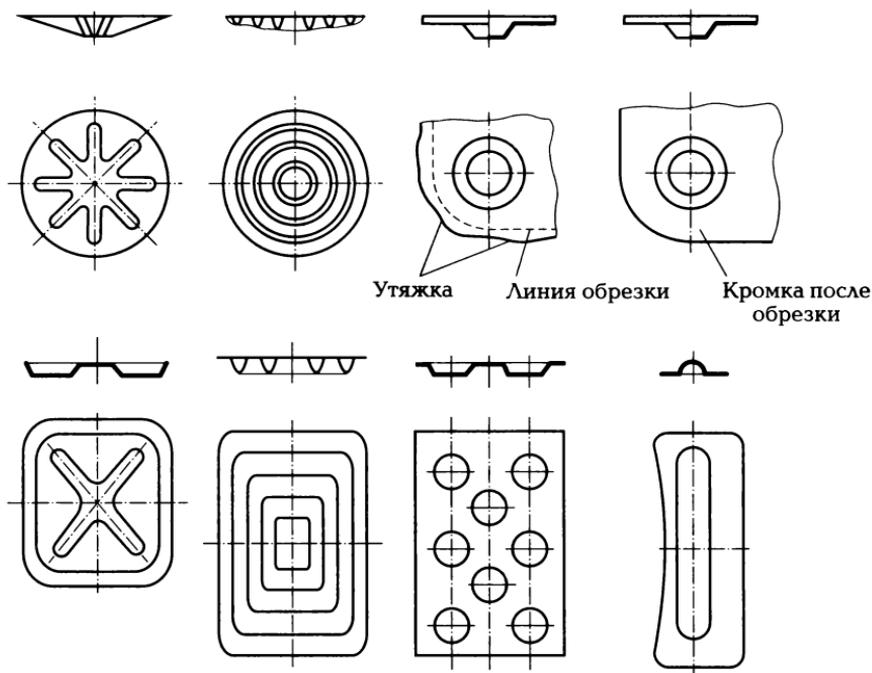


Рис. 3.24. Детали, полученные рельефной формовкой

*Обжим* — процесс сужения открытой части цилиндрических деталей (рис. 3.25, в). Полые детали малой высоты обжимают в штампах на прессах, а детали значительной длины — на ротационно-обжимных машинах (редуцирование).

Число обжимных операций рассчитывают по допустимому коэффициенту обжатия по формуле

$$n = \lg m_0 / \lg m_{\text{ср}},$$

где  $m_0$  — общий коэффициент обжима,  $m_0 = d_n/d_0$ ;  $m_{\text{ср}}$  — средний коэффициент обжима на каждой операции,  $m_{\text{ср}} = d_2/d_1 = d_3/d_2$ ;  $d_0$  — диаметр заготовки, поступающей на обжим;  $d_n$  — диаметр детали после  $n$ -го обжима;  $d_1, d_2$  — диаметры полуфабрикатов на промежуточных операциях.

Значение  $m_{\text{ср}}$  зависит от свойств металла и условий обжатия, т. е. от того, проводится ли обжим с вводом внутреннего стержня или нет. При предварительных расчетах для латуни и мягкой стали можно принять  $m_{\text{ср}} = 0,72$ .

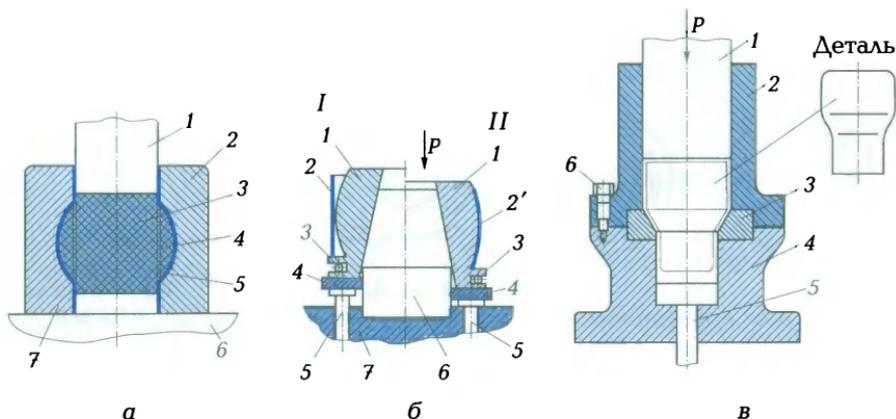


Рис. 3.25. Формовка растяжением и обжимом:

*а* — формовка растяжением упругим пуансоном: 1 — жесткий пуансон; 2, 7 — разъемная матрица; 3 — упругий пуансон; 4 — заготовка; 5 — полученное изделие; 6 — основание; *б* — формовка растяжением жестким секционным пуансоном без матрицы: 1 — секция пуансона; 2 — заготовка; 2' — полученное изделие; 3 — упругое кольцо; 4 — кольцо-выталкиватель; 5 — выталкиватель; 6 — оправка с конусом; 7 — основание; *И* — до рабочего хода ползуна пресса; *II* — после завершения рабочего хода ползуна и приложения силы  $P$ ; *в* — обжим в штампе: 1 — пуансон; 2 — корпус; 3 — матрица; 4 — основание; 5 — выталкиватель; 6 — болт;  $P$  — усилие формовки

Правку осуществляют для обеспечения заданной плоскостности детали после вырубки на провал и вырубки с пробивкой в штампах последовательного действия гладкими, точечными или вафельными штампами (рис. 3.26, *а*) и на специальных рихтовочных станках. Гладкие штампы применяют для деталей из мягких материалов, точечные и вафельные — для деталей из более твердых материалов. Шаг  $t$  между зубцами у этих штампов составляет  $(0,9 \dots 1,1)S$ , где  $S$  — толщина. Правке подвергают и пространственные детали. В этом случае рабочая часть штампа имеет форму подвергаемой правке детали (рис. 3.26, *б*). Правку на специальных рихтовочных станках проводят валками. Этот способ правки производителен, но не обеспечивает высокой точности.

*Разбортовку* применяют для образования борта по контуру отверстия диаметром  $D$  в плоской (показана пунктиром) заготовке (см. рис. 3.27, *а*) или для увеличения высоты полой детали, полученной вытяжкой (см. рис. 3.27, *б*).

При разбортовке происходит растяжение материала, в результате чего наблюдается значительное утончение материала на торце

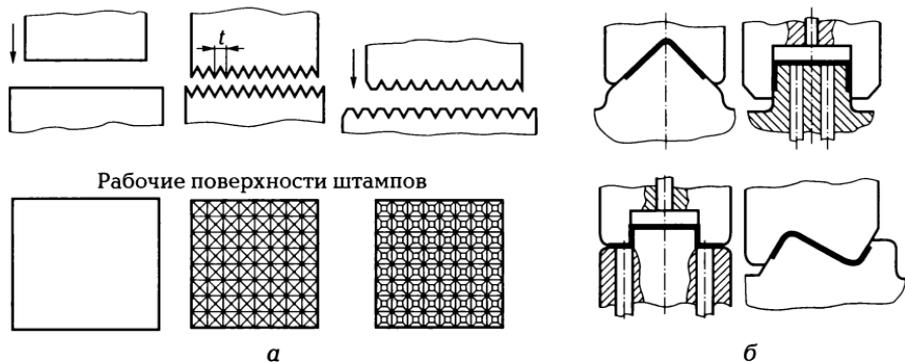


Рис. 3.26. Схемы штампов для правки:

*a* — плоских заготовок гладкими, точечными и вафельными штампами; *б* — пространственных деталей (показаны жирными линиями): *t* — шаг между зубцами штампов

разбортованного отверстия (см. рис. 3.27, *a*). Уменьшенную толщину стенки борта по торцу рассчитывают по формуле  $t_1 = S\sqrt{D/d}$ .

Возможность образовать борт заданной высоты определяют по максимально допустимой степени деформации, которая выражается коэффициентом разбортовки  $k = D/d$ . Коэффициент разбортовки зависит от пластических свойств штампуемого материала, способа получения отверстия и составляет 0,65...0,72.

Максимальную высоту разбортовки (высоту борта) цилиндрических деталей за одну операцию (см. рис. 3.27, *a*) рассчитывают по электрической формуле

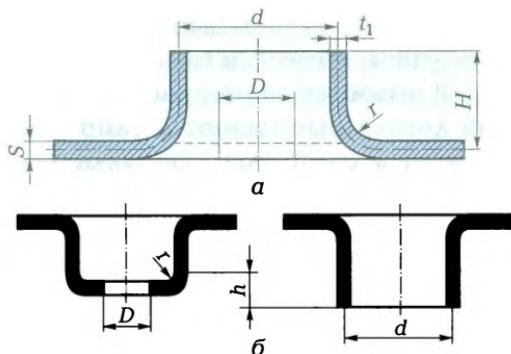


Рис. 3.27. Детали, получаемые разбортовкой:

*a* — за одну операцию; *б* — за три операции (вытяжка, пробивка, разбортовка); *S* — толщина заготовки; *D* — диаметр пробитого отверстия; *d* — диаметр борта; *t<sub>1</sub>* — уменьшенная толщина стенки борта; *H* — высота борта; *r* — радиус скругления; *h* — высота разбортованной части

$$H = d \frac{1-k}{2} + 0,43r + 0,72S,$$

где  $k$  — коэффициент разбортовки.

Диаметр отверстия под разбортовку рассчитывают по эмпирической формуле

$$D = d - 2(H - 0,43r - 0,72S).$$

Если заданную высоту разбортовки нельзя получить за одну операцию, то процесс разбортовки проводят следующим образом (см. рис. 3.27, б). Из плоской заготовки вытягивают цилиндр, в дне его пробивают отверстие, а затем проводят разбортовку;  $h$  и  $D$  в этом случае рассчитывают по формулам

$$h = d \frac{1-k}{2} + 0,57r; \quad D = d + 1,14r - 2h.$$

Обозначения, принятые в формулах, показаны на рис. 3.27, б.

При **комбинированной штамповке** (по сравнению с пооперационной штамповкой) можно снизить трудоемкость (в 3–8 раз и более), повысить качество изготавливаемых деталей. Комбинированную штамповку можно осуществить на универсальных и на многопозиционных прессах.

На *универсальных прессах* комбинированную штамповку проводят в штампах последовательного, совмещенного и совмещенно-последовательного действия.

В комбинированных штампах *последовательного действия* переходы для изготовления детали выполняют в направлении подачи полосы или штучной заготовки (например, сначала пробивка, а затем вырубка). В штампах *совмещенного действия* переходы для изготовления детали выполняют в направлении движения ползуна пресса (например, сначала пробивка, а затем вырубка). В штампах *совмещенно-последовательного действия* переходы выполняют частично в направлении перемещения ползуна пресса, а частично в направлении подачи полосы или заготовки. Выбор способа штамповки — на штампах простого действия (дифференцированный процесс) или на штампах комбинированного действия (концентрированный процесс) — должен базироваться на технико-экономическом анализе каждого из указанных вариантов.

Комбинированную штамповку в штампах последовательного действия осуществляют из полосы (ленты) или из предварительно изготовленной штучной заготовки.

При штамповке из штучной заготовки в штампе должно быть предусмотрено устройство для передачи заготовки с одного перехода на другой. Число переходов, а вместе с этим и характер изготавливаемых деталей зависят от конструкции транспортирующего механизма.

При штамповке в штампах *совмещенного действия* число совмещаемых операций не может превышать четырех. Возможность совмещения операций зависит от толщины штампуемого материала и размеров штампуемой детали, так как при определенных соотношениях наружного и внутреннего контуров детали толщина стенок у пуансонов и матриц штампа получается слишком малой, затрудняя их изготовление и термообработку.

Особое *достоинство* изготовления деталей в штампах совмещенного действия — это высокая точность взаимного расположения внутренних и наружных поверхностей штампуемой детали.

*Многопозиционные прессы* используют главным образом для вытяжки из ленты и из штучных заготовок. В первом случае многопозиционные прессы снабжают валковыми подачами для ленты и грейферными механизмами для передачи заготовок с одного перехода на другой, а во втором — только грейферными механизмами.

Многопозиционные прессы для вытяжки имеют много разновидностей. На этих прессах можно одновременно установить до 14 штампов простого действия.

### 3.4.2. Холодная объемная штамповка

Холодная объемная штамповка объединяет ряд таких операций, как осадка, объемная формовка, калибровка, чеканка, клеймение, холодное выдавливание, высадка.

**Осадка** (см. подразд. 3.3.2) — обжатие заготовки между двумя плитами, которые могут быть гладкими или с углублениями, при этом основная масса металла свободно вытекает в стороны. Схемы осадки деталей показаны на рис. 3.8, а–в.

**Объемная формовка** аналогична осадке и отличается от нее тем, что формоизменение заготовки происходит в полости штампа, закрытой полностью или частично. Образцы деталей, полученные объемной формовкой, показаны на рис. 3.28. Объемную формовку осуществляют либо в полосе или прутке с последующей вырубкой, либо (чаще) из штучных заготовок в открытых штампах с вытеснением излишнего металла в заусенец. Возможность получения

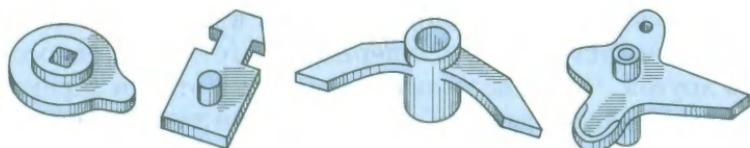


Рис. 3.28. Детали, получаемые объемной формовкой

деталей объемной формовкой, а также количество потребных для изготовления операций определяются пластичностью материала и сложностью формы детали. Число операций выбирают на основании опытных данных.

Объемную формовку проводят в штампах с направлением по вертикальным колонкам.

Точность объемной формовки в направлении нажатия составляет  $0,05 \dots 0,10$  мм, а в направлении, перпендикулярном нажатию,  $0,02 \dots 0,05$  мм. Шероховатость поверхности соответствует  $Ra 2,5 \dots 0,63$  мкм.

**Калибровка** предназначена для получения точных размеров и гладкой поверхности объемных деталей путем обжатия в штампе. Существуют плоскостная и объемная калибровки (рис. 3.29). При плоскостной калибруются только отдельные поверхности и толщина, а при объемной калибруются все поверхности и размеры, избыточный материал детали идет на образование заусенца, удаляемого последующей обрезкой или фрезеровкой. Силу калибровки рассчитывают по такой же формуле (см. подразд. 3.3.2), как и для осадки, но с другим значением удельного давления  $q$ .

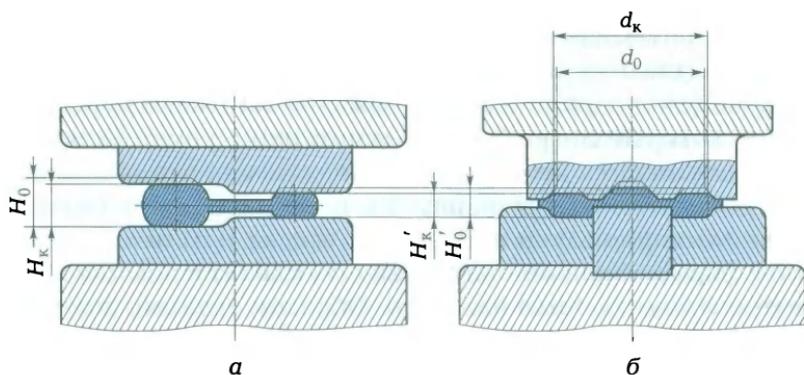


Рис. 3.29. Схемы плоскостной (а) и объемной (б) калибровки:

$H_0$ ,  $d_0$ ,  $H'_0$  — размеры заготовки;  $H_k$ ,  $d_k$ ,  $H'_k$  — размеры поковки

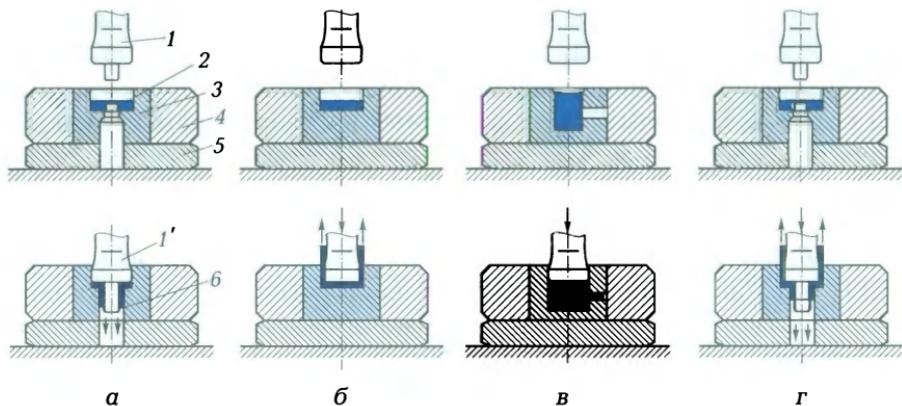


Рис. 3.30. Схемы холодного выдавливания:

*а* — прямого; *б* — обратного; *в* — бокового; *г* — комбинированного; 1 и 1' — пуансон и его нижнее положение соответственно; 2 — заготовка; 3 — матрица; 4 — матрицедержатель; 5 — прокладка; 6 — поковка

Операции, близкие к калибровке, — это **чеканка** и **клепание**, при которых на поверхности детали происходит образование выпукло-вогнутого рельефа. Чеканка характеризуется большим удельным давлением.

**Холодное выдавливание деталей** — один из наиболее прогрессивных способов получения полых тонкостенных деталей или деталей меньшего поперечного сечения из толстой заготовки путем истечения материала в зазор между пуансоном и матрицей. Существуют четыре способа холодного выдавливания (рис. 3.30, *а–г*): прямой, обратный, боковой и комбинированный.

При *прямом* выдавливании (см. рис. 3.30, *а*) направление течения материала совпадает с направлением движения пуансона. Этим способом можно получать детали типа стержней с утолщениями (болты, тарельчатые клапаны и т. д.).

При *обратном* выдавливании направление течения материала противоположно направлению движения пуансона относительно матрицы. По схеме, показанной на рис. 3.30, *б*, изготавливают полые детали с дном типа туб (корпуса тьюбиков), экранов радиоламп и т. д.

При *боковом* выдавливании материал вытекает в отверстие в боковой части матрицы в направлении, пересекающемся или скрещивающемся с направлением движения пуансона (см. рис. 3.30, *в*). Таким способом можно получить детали типа тройников, крестовин и т. д.

При *комбинированном* выдавливании материал течет по нескольким направлениям, поэтому выдавливание может быть осу-

ществлено по нескольким из рассмотренных ранее схем холодного выдавливания. На рис. 3.30, г приведена схема комбинированного выдавливания (совмещаются схемы, показанные на рис. 3.30, а, б), на которой обратным выдавливанием изготавливают полую чашеобразную часть детали, а прямым — стержень, отходящий от ее донной части.

Степень деформации, которая характеризуется коэффициентом  $k = F_0/F_1$  (где  $F_0$  — площадь поперечного сечения исходной заготовки;  $F_1$  — площадь поперечного сечения выдавленной части детали), может быть очень большой. Для весьма пластичных материалов (например, алюминиевых)  $k > 100$ .

Для получения цилиндрической полой детали заготовка должна иметь форму круга или шестигранника, а для получения деталей другой формы — форму, соответствующую их конфигурации (квадрат, прямоугольник и т. д.) (рис. 3.31).

Толщину заготовки рассчитывают по формуле

$$S = V/F,$$

где  $V$  — объем детали с учетом припуска на обрезку;  $F$  — площадь заготовки.

Номинальные размеры в плане (при виде сверху) детали и заготовки одинаковы. Заготовки из листового материала получают вырубкой и последующей зачисткой или чистовой вырубкой. Кромки у заготовок желательно притупить галтовкой в барабане. После галтовки заготовки надлежит обезжирить, промыть, отжечь, нанести смазочный материал.

Если в качестве исходного материала для заготовок используют прутки, необходимо провести подготовительные операции: правку и обдирку прутков для удаления поверхностных пороков, отрезку заготовок, отжиг, удаление окалины, очистку и смазывание.

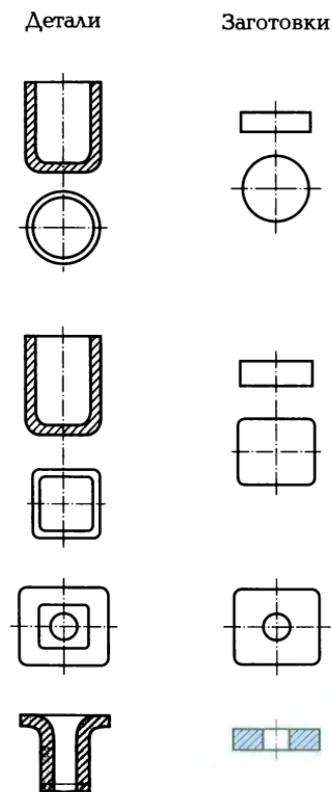


Рис. 3.31. Детали различных конфигураций и заготовки для получения этих деталей при холодном выдавливании

Таблица 3.2. Определение числа переходов высадки

Число переходов	Относительные размеры высаживаемой части заготовки и высаженной головки (см. рис. 3.32)		
	$h_0/d_0$	$d/h$	$d/d_0$
1	2,5	4,5	2,2
2	2,5...5	4,5...8,5	2,2...2,6
3	5...8	8,5...10	2,6...4

Примечание.  $d_0$  — диаметр заготовки, мм;  $d$  — диаметр головки, мм;  $h$  — высота головки, мм;  $h_0$  — длина заготовки, необходимая для высадки головки.

Штампы для выдавливания делают только с направляющими колонками. Схемы рабочих частей штампов были показаны на рис. 3.30.

**Высадка** — разновидность осадки, при которой осаживается лишь часть длины заготовки. Этой операцией получают заклепки, болты, гайки, шарики, гвозди и т.д. Для высадки используют калиброванный материал преимущественно круглого сечения следующих марок: стали от 08 до 45, 20X, 40X, 30XГСА, ШХ9, ШХ15, 12X18Н9Т, У10А, дуралюмин Д1 и Д17, латунь ЛС59, Л62, Л68, медь и др.

Высадку осуществляют на холодно-высадочных прессах-автоматах и в штампах на обычных кривошипных прессах.

В зависимости от характера (высадка головки, внутренней полости и др.) высадку осуществляют за один, два, три и более переходов. Иногда вместе с высадкой проводят и другие операции: высадку фасок, редуцирование, обрезку, накатку резьбы и т.д.

Для определения числа переходов высадки стандартных стержневых (крепежных) деталей можно пользоваться данными табл. 3.2.

Длина заготовки, необходимая для высадки головки, определяется по формуле

$$h_0 = 4V/(\pi d^2_0),$$

где  $V$  — объем высаживаемой головки.

В ряде случаев при  $h_0/d_0 < 2,5$ , когда к точности головки предъявляют повышенные требования или когда головку относят к разряду плоских, т.е.  $d/h \geq 4,5$ , высадку проводят за два перехода.

Высадку осуществляют в цельной или разъемной матрицах. Тип матрицы определяется длиной стержня высаживаемой детали. Цельную матрицу применяют при длине стержня высаживаемой детали менее  $8d$ , а разъемную — более  $8d$  (где  $d$  — диаметр стержня).

Рассмотрим схемы высадки на автоматах с цельной матрицей.

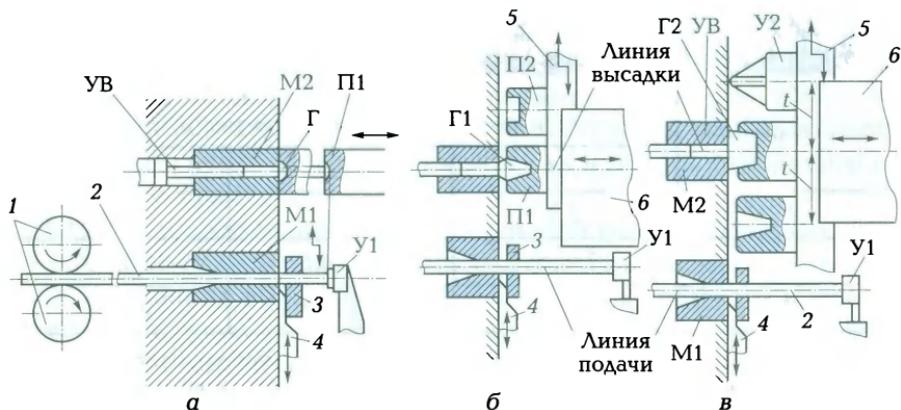


Рис. 3.32. Схемы высадки:

*а* — на одноударном автомате; *б, в* — на двухударном автомате: 1 — ролики; 2 — пруток; 3 — захват; 4 — нож; 5 — каретка с пуансонами П1 и П2; 6 — ползун; М1, М2 — матрицы; П1, П2 — пуансоны; У1, У2 — упоры; УВ — упоры-выталкиватели; Г, Г1, Г2 — головки; *t* — шаг хода каретки

На рис. 3.32, *а* показана схема высадки на одноударном высадочном автомате. Выпрямленный правильными роликами (на рис. 3.32 не показаны) пруток 2 подают ролики 1 механизма подачи через отверстие отрезной матрицы М1 до упора У1. Как только пруток достигнет упора, вращение роликов автоматически прекращают и от прутка ножом 4 отрезают заготовку, которая, будучи зажатой захватом 3, перемещается на линию высадки, совпадающую с осевой линией матрицы М2. При движении пуансона П1 к матрице М2 заготовка вначале заталкивается в матрицу до упора в выталкиватель УВ, а затем происходит высадка головки. При возврате пуансона в исходное положение высаженная деталь выталкивается из матрицы, и цикл повторяется.

Если высадка осуществляется за два или три перехода, на первых переходах головке Г1 придают коническую форму (рис. 3.32, *б*).

При высадке головки за два перехода на двухударном автомате после того, как пуансон П1 предварительной высадки высадит головку Г1, то при отходе ползуна 6 каретка 5 с пуансонами переместится и на линии высадки установится пуансон П2 окончательной высадки, который и нанесет удар, окончательно формирующий головку Г2 (рис. 3.32, *в*). Ход ползуна 6 регламентируется упором У2.

Таким образом, в одноударных автоматах для высадки головки Г требуется один оборот кривошипного вала, в двухударных — два, а в трехударных — три оборота вала.

### 3.4.3. Оборудование и инструмент для холодной штамповки

**Оборудование.** При листовой штамповке наиболее применимы кривошипные прессы, которые подразделяют на прессы простого действия (см. рис. 3.15, движение передается пуансону) и двойного действия (движение передается и пуансону, и прижиму).

Кроме кривошипных прессов, для листовой штамповки применяют гидравлические прессы (штамповка резиной, штамповка крупногабаритных толстостенных деталей), а для малогабаритных деталей — эксцентриковые прессы.

Объемную формовку проводят на чеканочных, кривошипных двухстоечных и гидравлических прессах, высадку осуществляют и на холодно-высадочных автоматах.

**Инструменты-штампы.** В крупносерийном производстве при изготовлении большого числа одинаковых деталей применяют сравнительно сложные (инструментальные) штампы, состоящие из значительного числа деталей и обеспечивающие хорошее качество изделия при высокой стойкости инструмента и достаточно высокую производительность. Существуют штампы для выполнения только одной операции (однооперационные) и для выполнения нескольких операций листовой штамповки (комбинированная штамповка) за один ход прессы. Рассмотрим схему штампа, в котором совмещены вырубка и пробивка (рис. 3.33).

На нижней плите 13 закреплены направляющие колонки 16 и матрицедержатель 15, который, в свою очередь, закрепляет пуансон-матрицу 8. На матрицедержателе установлена пружина 11. Пуансон-матрицу используют в качестве пуансона при вырубке и матрицы при пробивке. На плите 13 установлены пуансон-матрица 8, пружины 14 и 11, съемник 17, упор 12 и винты 6.

На верхней плите 21 закреплены матрица (при вырубке) 18, направляющие втулки 19, прокладка 22, хвостовик 24, пуансон 4 (при пробивке) закреплен пуансонодержателем 20. На плите 21 установлены выталкиватели 1, 3, 5 и прокладка 2.

На рис. 3.33 штамп показан в закрытом состоянии: уже проведены и вырубка (пуансоном-матрицей 8, который в этом случае является пуансоном, и матрицей 18), и пробивка (пуансоном 4 и пуансоном-матрицей 8, который в данном случае является матрицей).

Деталь (изделие) 10 находится в отверстии матрицы 18, выталкиватели 5, 3, 1 и прокладка 2 смещены вверх относительно плиты 21.

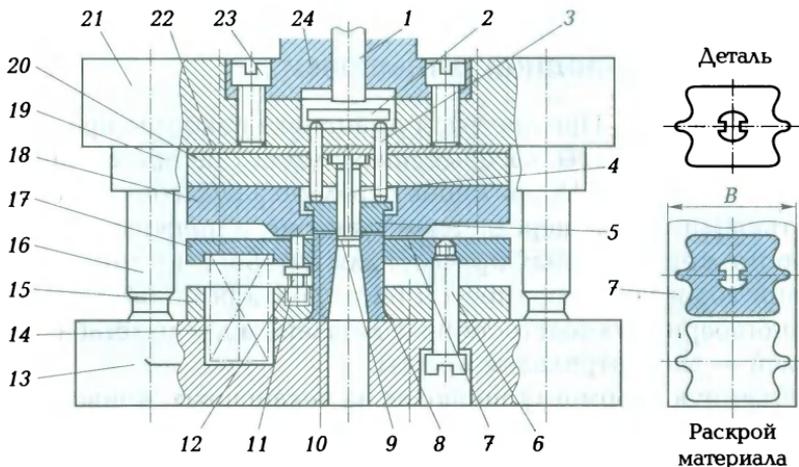


Рис. 3.33. Штмп комбинированный совмещенного действия для вырубкн и пробивки:

1, 3 и 5 — выталкиватели; 2 и 22 — прокладки; 4 — пуансон; 6 и 23 — винты; 7 — полоса; 8 — пуансон-матрица; 9 — отход; 10 — деталь; 11 и 14 — пружины; 12 — упор; 13 — нижняя плита; 15 — матрицедержатель; 16 — направляющая колонка; 17 — сьемник; 18 — матрица; 19 — направляющая втулка; 20 — пуансонодержатель; 21 — верхняя плита; 24 — хвостовик;  $B$  — ширина полосы

Полоса 7 надета на пуансон-матрицу 8, отход 9 находится в отверстии этой детали (затем он провалится в тару через отверстие в плите 13), сьемник 17, упор 12 и винты 6 смещены вниз относительно плиты 13, пружины 14 и 11 сжаты.

Когда ползун прессы (на рис. 3.33 не показан) движется вверх (холостой ход), то вверх движется и плита 21, и все закрепленные и установленные на ней детали. Выталкиватель 1 упирается в упор, закрепленный на направляющих прессы (на рис. 3.33 не показаны), и останавливается. Прекращается перемещение прокладки 2 и выталкивателей 3 и 5. Остановившийся выталкиватель 5 выталкивает деталь 10 из отверстия матрицы 18. Матрица 18 вместе с плитой 21 продолжает двигаться вверх до конца холостого хода ползуна прессы.

Кроме того, при холостом ходе ползуна прессы сьемник 17 под действием пружины 14 и упор 12 под действием пружины 11 смещаются вверх. При этом сьемник 17 снимает полосу с пуансон-матрицы 8 и занимает исходное положение, при котором его рабочая поверхность (по ней перемещается полоса 7) совпадает с торцом (зеркалом) пуансон-матрицы 8.

Механизм подачи (на рис. 3.33 не показан) подает полосу 7 направляющими линейками до упора 12. Ползун прессы опускается (совершает рабочий ход), вместе с ним опускаются плита 21 и все закрепленные на ней детали. Цикл повторяется до тех пор, пока полоса 7 не закончится и не выйдет из механизма подачи. После этого нужно вставить в этот механизм новую полосу или ленту.

Многооперационные штампы обычно дороже однооперационных, но позволяют повысить производительность труда и уменьшить число используемого для штамповки оборудования.

При необходимости изготовить небольшое количество одинаковых деталей (мелкосерийное производство) сложные и дорогостоящие штампы применять нерационально. В этом случае стремятся уменьшить стоимость штампа, создавая упрощенные конструкции, используя менее дорогие материалы для деталей штампов и т. д. В упрощенных штампах обычно не применяют устройств для направления верхней плиты относительно нижней (колонок, втулок, направляющих плит и т. д.), упрощают направление полосы (не делают упоров, направляющих линеек и т. д.) и широко применяют детали из эластичных материалов (резины, полиуретана) в качестве съемников, выталкивателей и т. д. Материалом для пуансона и матриц иногда служат сплавы цветных металлов. В отдельных случаях рабочий инструмент изготавливают из дерева, облицовывая его листовым металлом.

В мелкосерийном производстве наряду с упрощенными конструкциями штампов применяют универсальные и быстро перенастраиваемые штампы, в которых, заменяя только пуансон и матрицу, можно изготавливать различные детали.

## **3.5. ПРОИЗВОДСТВО ИЗДЕЛИЙ ИЗ МЕТАЛЛА В ТВЕРДОЖИДКОМ СОСТОЯНИИ<sup>1</sup>**

### **3.5.1. Общие сведения**

В конце XX — начале XXI вв. в заготовительных производствах заметно усилился интерес к технологиям, в которых формообразование осуществляется из сплавов, находящихся не в жидком (как при литье) или твердом (как при штамповке), а в двухфазном

<sup>1</sup> В данном подразделе использован материал учебного пособия [8].

состоянии при наличии в металлическом расплаве определенной доли твердой фазы. Это позволяет использовать новые качества металлов и сплавов только в твердожидком состоянии, а главное — осуществлять сложное формообразование за одну операцию и при пониженном энергодержании металла.

Тогда же возникла новая концептуальная схема — *парадигма*, модель постановки проблем и их решений, главным образом организации заготовительных производств, ориентированная на формообразование из *специализированных двухфазных сред*, включая *тиксотропирование*.

Принципиальное изменение структуры и свойств материала, достигаемое в новых технологиях, позволяет говорить о появлении новой парадигмы в организации заготовительных производств. Новыми показателями качества металла являются тиксотропность и псевдосверхпластичность, которые хорошо известны в реологии — науке о деформациях и текучести веществ. Именно металлические расплавы в твердожидком состоянии проявляют эти качества: тиксотропность и псевдосверхпластичность.

Металлические расплавы в твердожидком состоянии способны проявлять названные качества при наличии двух условий: в определенном интервале изменения доли твердой фазы в расплаве и при определенной ее дисперсности и морфологии. Эти условия определяют структуру новых технологий, которая включает в себя приготовление из первоначально твердого или жидкого сплава порции металлической суспензии путем осуществления незавершенного (прерываемого) фазового перехода. В суспензии строго регламентируются объемная доля твердой фазы, морфология кристаллов и их количество в  $1 \text{ см}^3$  — формообразование деформированием, производимое в режиме, наиболее благоприятном для проявления суспензией свойства тиксотропии.

**Суспензия** — дисперсная система, состоящая из взвешенных в жидкости мелких твердых частиц.

**Тиксотропия** — способность систем восстанавливать в изотермических условиях свою структуру, разрушенную механическим воздействием (изотермический процесс, как известно, протекает при постоянной температуре).

**Пластичность** — свойство твердых тел под воздействием внешних сил изменять, не разрушаясь, свою форму и размеры и сохранять остаточные (пластические) деформации после устранения этих сил.

**Псевдосверхпластичность** — растекание полужидкого металла в состоянии пластичности (при постепенном его охлаждении) по

желобу в рабочую полость штампа и получение кристаллических частиц. Особенностью твердой фазы в металлических расплавах является появление их в виде кристаллических образований. Все твердые металлы в фасонных изделиях имеют кристаллическое строение. От числа кристаллов, их формы и преимущественной ориентации зависят предельные эксплуатационные свойства формируемого изделия.

Как уже указывалось ранее, *кристаллизация* — это образование кристаллов из паров, растворов, расплавов, веществ, находящихся в твердом состоянии (аморфном или других кристаллических состояниях).

Теоретически возможны различные механизмы роста кристаллов, но определяющим правилом организации этих процессов является следующее: твердая фаза в металлических расплавах появляется в виде особых кристаллических образований — *гентри-тов* (кристаллы древовидной, ветвистой формы), характерных для литевых сталей и других сплавов. Кристаллизация лежит в основе металлургических и литейных процессов.

Когда жидкая суспензия заливается в рабочую полость штампа, в ней начинается процесс кристаллизации, который должен проходить по определенной программе. Эта программа передается суспензии при ее остывании, причем процесс остывания также должен проходить по своей программе. Обе программы рассчитываются по формулам и проверяются экспериментально.

Благодаря роли темпа кристаллизации при его непосредственном охлаждении по формулам (например, по формуле Г. Ф. Баландина) были найдены дополнительные средства управления затвердеванием. Для обеспечения процесса формообразования из сплавов в двухфазном состоянии разработаны и используются различные перспективные технологии, к числу которых относятся тиксолитье, тиксоштамповка и другие, в том числе тиксомоддинг, реомоддинг, применяемые для производства точных деталей из магниевых сплавов.

В рамках концепции формообразования из сплавов в двухфазном состоянии разработаны и применяются разнообразные технологии, которые в иностранной литературе обозначаются аббревиатурой SSP (Semi-solid Processing), а SSM (Semi-solid Metal) — собственно сплавы, применяемые в этих технологиях.

В отечественной литературе наибольшее распространение получили термины *рео-* и *тиксотехнологии*, *рео-* и *тиксотформирование*, а также *переработка в жидкотвердом и твердожидком состояниях*.

### 3.5.2. Тиксолитье и тиксоштамповка

Различия традиционных и новых технологий достаточно полно отражены в схемах и условиях литья сплава А357 (АЛ9-1), показанных на рис. 3.34. В технологическом процессе литья под давлением (ЛПД) начальная температура заливки  $T_{\text{зал}}$  всегда выше ликвидуса сплава  $T_{\text{л}}$  и для данного сплава составляет около  $650^{\circ}\text{C}$  (рис. 3.34, а). Заполнение полости формы начинается и заканчивается при жидком состоянии расплава. При этом для сжатия захваченной расплавом формы газовых включений и компенсации его усадки сразу по окончании процесса заполнения или после охлаждения сплава до температуры примерно  $580^{\circ}\text{C}$  и до полного затвердевания сплава выполняют подпрессовку при давлении, достигающем 500 МПа и более.

При тиксолитье (рис. 3.34, б) заполнение полости формы начинается при температуре металла ниже ликвидуса (примерно  $585^{\circ}\text{C}$ ), т. е. при наличии в расплаве большой доли твердой фазы. Давление запрессовки в несколько мегапаскалей обеспечивает ламинарный режим заполнения формы, в процессе которого расплав теряет около  $15^{\circ}\text{C}$ , а давление запрессовки увеличивается примерно до 40 МПа. По окончании заполнения и до полного затвердевания расплава давление подпрессовки поднимают до 100...200 МПа, что гарантирует практически полное отсутствие газов и усадочных дефектов в отливке. В настоящее время с помощью тиксолитья можно производить тиксозаготовки только цилиндрической формы, а с помощью тиксоштамповки — заготовки цилиндрической и кольцевой форм. Благодаря преимуществу тиксоштамповки перед тиксолитьем далее будем пользоваться ее терминологией (пресс, штамп, пуансон, матрица и др.).

**Последовательность этапов** технологических процессов тиксолитья и тиксоштамповки одинакова:

- *первый этап* — равномерный нагрев заготовки до расплавления легкоплавкой эвтектической фазы и частично  $\alpha$ -фазы до получения однородной суспензии. Его продолжительность зависит от размера заготовки и используемого устройства;
- *второй этап* — передача твердожидкого металла в штамп с помощью манипулятора (этап должен осуществляться с минимальной потерей энергосодержания заготовки, т. е. за минимальное время);
- *третий этап* — придание твердожидкой заготовке формы гравюры (печатный оттиск) штампа (этап продолжается до полного затвердевания жидкой составляющей суспензии).

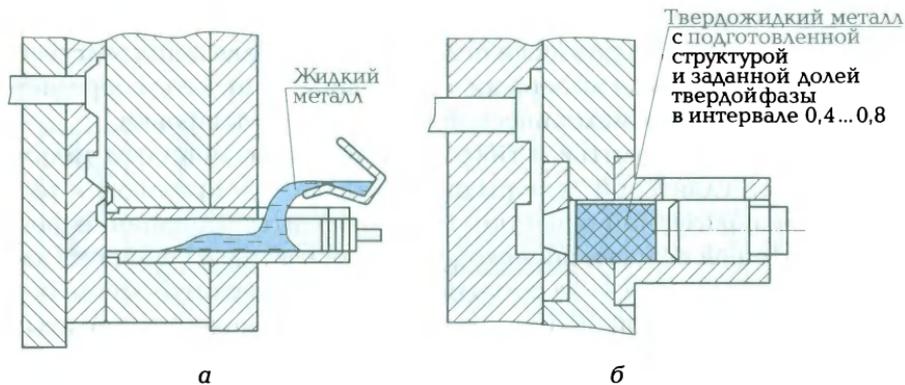


Рис. 3.34. Схемы традиционного процесса ЛПД (а) и тиксолитья (тиксоштамповки) (б)

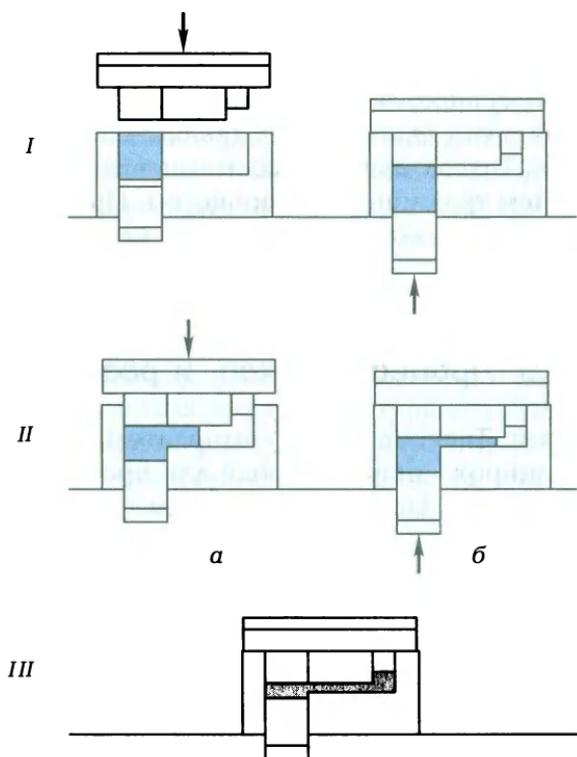


Рис. 3.35. Варианты штамповки (а) и бокового выдавливания (б) в одном штампе:

*I* — исходное состояние; *II* — промежуточное состояние; *III* — конечное состояние

После затвердевания и частичного охлаждения фасонная заготовка извлекается из штампа и подвергается закалке непосредственно у прессы или после выдержки в проходной печи, затем передается в другой цех для механической обработки и шлифовки.

Процессы тиксолитья и тиксоштамповки различаются только скоростями сдвиговой деформации металла, что приводит к различиям используемой оснастки. При тиксолитье заполнение формообразующей полости происходит за доли секунды, в то время как при тиксоштамповке — за секунды. Поэтому тиксолитье всегда осуществляется в запертой форме, а тиксоштамповка может проводиться и по традиционным схемам: в открытом или закрытом штампе.

Формообразование из суспензированной заготовки может быть осуществлено по двум вариантам (рис. 3.35): в варианте *а* площадь верхнего прессующего пуансона равна площади проекции детали. Заполняемый объем при перемещении пуансона непрерывно уменьшается; в варианте *б* прессование осуществляется снизу, площадь нижнего прессующего пуансона равна площади сечения тиксозаготовки, а заполняемый объем не изменяется во времени.

Структура получаемого металла такова, что новые технологии рассматриваются как альтернатива традиционным методам формообразования. Тиксолитье и тиксоштамповка энергетически более выгодны, чем традиционные процессы. Производительность названных процессов такая же (или выше), как при традиционном формообразовании.

### 3.5.3. Процессы тиксо- и реомолдинга

**Тиксомолдинг.** Тиксомолдинг — относительно новый процесс, освоенный и широко используемый для производства точных деталей из магниевых сплавов в одной интегрированной машине (рис. 3.36).

Сырьем для тиксомолдинга являются гранулы магния *1* («чипсы») размером 2...5 мм, полученные традиционной обработкой магниевых сплавов. Специальное устройство отмеряет определенный объем сырья и загружает его в электрическую печь. Затем металл поступает в устройство подачи, где частично расплавленные гранулы под давлением превращаются в суспензию. В основе устройства подачи лежит шнек-винт *5*, осуществляющий как перемешивание, так и перемещение гранул. После подачи в горловину устройства гранулы проходят горячую зону и попадают к торцу винта, который в это время отводится назад. Как только объем суспензии станет

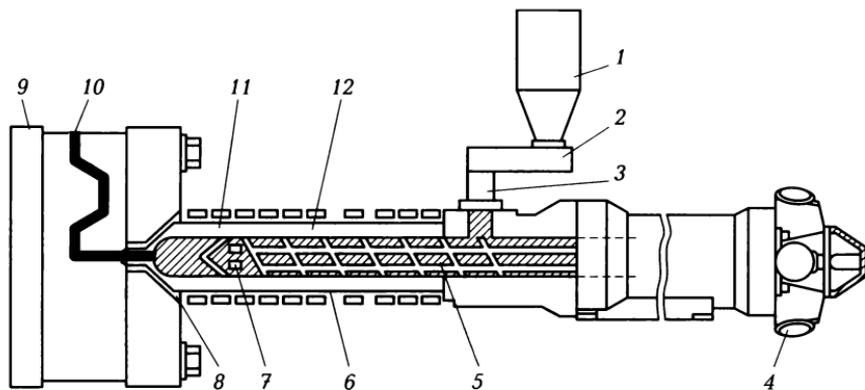


Рис. 3.36. Схема процесса тиксомолдинга:

1 — магний; 2 — магазин; 3 — аргон; 4 — роторный привод; 5 — шнек-вент; 6 — цилиндрический корпус; 7 — обратный клапан; 8 — выпускное отверстие; 9 — крепеж штампа; 10 — матрица; 11 — тиксотропный магний; 12 — нагреватель

соответствовать объему полости штампа, винт с большой скоростью под давлением начнет вводить суспензию в формообразующую полость. Обратный клапан 7 удерживает материал от вытекания в зону подачи от торцевой части винта. Чтобы предохранить магниевый сплав от окисления и воспламенения в горячем состоянии, в устройстве подачи поддерживается защитная атмосфера с помощью аргона 3. Нагрев цилиндрического корпуса 6 и шнека-винта 5 осуществляется ленточными и индукционными нагревателями 12.

Наиболее типичным для переработки данным методом является сплав **AZ91D**, который содержит 9 % Al, 1 % Zn и малые добавки элементов, повышающих коррозионную стойкость сплава. Микроструктура отливок и размерная точность фасонных заготовок во многом зависят от условий протекания процесса. Определяющими факторами являются: максимальная температура нагрева металла (цикл нагрева, который может быть холодным или горячим), скорость сдвига в шнеке, время выдержки и температура в зоне накопителя (температура впрыска), скорости сдвига и температура в форме.

В цикле нагрева, названном холодным, транспортируемый металл подвергается сдвигам на стадии разогрева и стабилизации суспензии при температуре  $(582 \pm 2) ^\circ\text{C}$ , что ниже ликвидуса сплава на  $14 ^\circ\text{C}$ . В таком процессе формируются структуры с захваченной эвтектикой. В цикле нагрева, названном горячим, транспортируемый металл сначала на короткое время доводится до температуры выше ликвидуса, а сдвиги создаются на стадии его охлаждения ниже ликвидуса и стабилизации при той же температуре, что и в

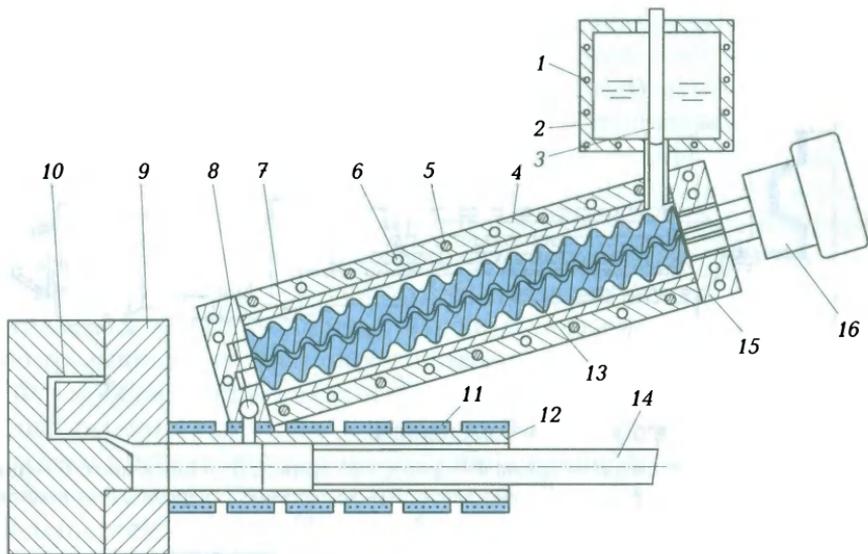


Рис. 3.37. Схема процесса реомолдинга с двумя винтами:

1, 5 и 11 — нагревательные элементы; 2 — тигель; 3 — запорный стержень; 4 — цилиндрический корпус; 6 — охлаждение; 7 — гильза; 8 — перепускной клапан; 9 — штамп; 10 — полость штампа; 12 — рукав; 13 — двойной винт; 14 — плунжер; 15 — крышка; 16 — привод

холодном цикле. В таком процессе формируется глобулярная структура первичной фазы без захваченной эвтектики. В большинстве описанных в литературе примеров тиксомолдинга реализуется горячий цикл нагрева.

Главное преимущество тиксомолдинга по сравнению с другими технологиями обработки металлов в твердожидком состоянии заключается в том, что он фактически объединяет две операции — приготовление суспензии и формообразование — в одном цикле и соответственно повышает эффективность производства: при равном объеме производства тиксомолдинг дешевле, чем производство отливок методами ЛПД с холодной и горячей камерами прессования, а качество продукции выше. Другие преимущества тиксомолдинга: исключение ручной работы, создание чистой и безопасной рабочей среды, что особенно важно при работе со сплавами магния.

**Реомолдинг.** Подобно процессу тиксомолдинга, реомолдинг является технологией, взятой из области обработки полимеров, однако вместо твердых гранул сплава в процессе реомолдинга в качестве сырья используется *жидкий металл*.

Имеется два различных типа оборудования для процесса реомолдинга: с одним винтом (см. рис. 3.36) и с двумя винтами (рис. 3.37). Принцип действия реомолдинга с двумя винтами аналогичен принципу действия тиксомолдинга с одним винтом, описанному ранее (см. рис. 3.36). В процессе реомолдинга жидкий металл поступает из защищенной инертным газом емкости в цилиндр, где, охлаждаясь, механически перемешивается вращающимся винтом и преобразуется в твердожидкую среду — суспензию, которая затем под давлением подается через сопло в литейную форму. Процесс реомолдинга был разработан применительно к литейным сплавам на основе систем Sn—Pb и Zn—Al—Cu.

Разработан процесс реомолдинга на двухвинтовом прессе (см. рис. 3.37). Для потока металла в этом процессе характерна более высокая степень однородности по температуре и химическому составу. Данная технология была проверена на основе системы Sn—Pb и магниевых сплавов. Суспензию, произведенную в таком процессе, отличает высококачественная форма сферических частиц, однородных по размерам. Процесс реомолдинга с двумя винтами стал применяться и для процесса реоперемешивания, чтобы обрабатывать обычно не смешивающиеся жидкие сплавы.

Общие сведения о технологии тиксоформирования приведены в табл. 3.3.

Сравнение технико-экономических характеристик тиксоштамповки, тиксолитья нового реолитья позволило, используя новое реолитье, повысить качество и значительно уменьшить стоимость продукции.

Таблица 3.3. Параметры технологии тиксоформирования

№ п/п	Процесс обработки	Состояние металла / способ получения	Условия формообразования	Особенности процесса
1	Горячая объемная штамповка	Твердый металл / литье, литье + экструзия	Постоянная температура / сдвиги в твердой фазе	Литье и многоступенчатые переходы в твердом состоянии
2	Тиксоштамповка	Твердожидкий металл / нагрев тиксозаготовки ( $0,6 < f_s \leq 0,9$ )	Постоянная температура / сдвиги в твердожидкой среде	Двухступенчатый процесс: раздельное приготовление суспензии и формообразование

№ п/п	Процесс обработки	Состояние металла / способ получения	Условия формообразования	Особенности процесса
3	Тиксолитье	Твердожидкий металл / нагрев тиксозаготовки ( $0,4 \leq f_s \leq 0,7$ )	Постоянная температура / сдвиги в твердожидкой среде	Двухступенчатый процесс: раздельное приготовление суспензии и формообразование
4	Тиксомолдинг	Твердожидкий металл / нагрев стружки (чипсы) твердого металла ( $0,3 \leq f_s \leq 0,6$ )	Переменная температура / сдвиги в твердой фазе и твердожидкой среде	Одноступенчатый процесс
5	Реоштамповка	Твердожидкий металл / суспензию получают из расплавленного металла ( $0,5 \leq f_s \leq 0,9$ )	Постоянная температура / сдвиги в твердожидкой среде	Двухступенчатый процесс: раздельное приготовление суспензии и формообразование
6	Реолитье	Твердожидкий металл / суспензию получают из расплавленного металла ( $f_s = 0,2...0,3$ )	Постоянная температура / вязкость минимальна и сдвиги практически отсутствуют	То же
7	Новое реолитье	Твердожидкий металл / суспензию получают из расплавленного металла ( $0,4 \leq f_s \leq 0,6$ )	Постоянная температура / сдвиги в твердожидкой среде	»
8	Реомолдинг	Твердожидкий металл / суспензию получают из расплавленного металла ( $0,3 \leq f_s \leq 0,6$ )	Переменная температура / сдвиги в твердожидкой среде	Одноступенчатый процесс

Примечание.  $f_s$  — доля твердой фазы в суспензии.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

---

1. В чем сущность упругой и пластической деформаций?
2. Что такое скольжение, дислокации, двойникование?
3. Что такое прокатка, прессование, волочение?
4. Перечислите основные операцииковки. В чем их сущность?
5. Что такое припуск, допуск и напуск?
6. По какому принципу выбирают заготовки для поковки?
7. Изобразите поковки одной и той же детали кольца при изготовлении их: в открытом штампе; в закрытом штампе с одной плоскостью разъема; с двумя плоскостями разъема?
8. Для поволоков всех деталей, изображенных на рис. 3.7, выберите рациональный способ горячей обработки давлением.
9. Что такое многоручьевой штамп?
10. Какое оборудование применяют при ковке, при горячей объемной штамповке?
11. Приведите схемы ротационной обжимки.
12. Перечислите виды и особенности раскроя материала.
13. Какие операции называют разделительными? Опишите их схемы и дайте характеристики.
14. Опишите формоизменяющие операции при холодной штамповке: гибку, вытяжку и др., их схемы и особенности.
15. Приведите схемы и дайте характеристики методам листовой штамповки.
16. Назовите методы холодной объемной штамповки, охарактеризуйте их схемы и особенности.
17. По схеме, приведенной на рис. 3.33, опишите принцип действия комбинированного штампа для вырубк и пробивки.
18. Можно ли применять холодную штамповку в единичном и мелкосерийном производстве? Каким образом?
19. Что такое тиксолитье?
20. Что такое тиксоштамповка?

# ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РАЗМЕРНОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

## 4.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Электрохимическая обработка (ЭХО), предложенная в 1928 г. в СССР В. Н. Гусевым и Л. П. Рожковым, заключается в электрохимическом (анодном) растворении металла заготовки при высоких плотностях электрического тока.

Электроэрозионная обработка (ЭЭО) была предложена в 1943 г. советскими учеными Б. Р. Лазаренко и Н. И. Лазаренко. ЭЭО основана на постепенном разрушении поверхности металла под воздействием электрических разрядов. Эти же ученые разработали основы размерной обработки металлических деталей машин и приборов методами ЭХО и ЭЭО. Выдающийся вклад в развитие электротехнологических методов размерной обработки материалов внесли ученые Ю. Н. Петров, В. Д. Проклова, Э. А. Сатель, Ф. В. Садыкин, В. М. Суменов, Н. К. Фатеев и др.

Перед промышленностью постоянно возникает ряд технологических проблем, связанных с обработкой новых материалов или с изготовлением изделий, форма поверхности которых или ее состояние не могут быть получены известными в настоящее время механическими методами. Наряду с обработкой особо прочных материалов большие трудности представляет собой обработка весьма хрупких материалов, например, неметаллических материалов (алмазов, кварца, керамики и т. д.), полупроводниковых (германия, кремния) и других материалов. Можно назвать еще ряд технологических проблем, таких, например, как получение изделий с поверхностями высокого класса чистоты (от  $Ra$  0,01 до  $Rz$  0,05 мкм), удаление деформированного слоя, снятие заусенцев.

Перечисленные ранее и ряд других технологических задач могут быть решены электрическими, электрохимическими процессами, ударно-импульсными воздействиями и различными видами лучевой энергии, плазменными дугой или струей.

Наиболее важные общие особенности этих методов — это реализация энергии формоизменения непосредственно в зоне обработки и возможность осуществить локальное изменение формы заготовки. Последняя в свою очередь — основное условие проведения размерной обработки, что позволяет осуществлять операции, аналогичные сверлению, фрезерованию практически при отсутствии усилий обработки. Обработка заготовок указанными методами осуществляется за счет протекания на поверхности обрабатываемых заготовок тех или иных эрозионных процессов. Известно, что эрозия (разрушение поверхности) может осуществляться за счет механических воздействий (истирания, выкрашивания); химического или электрохимического растворения; выбросов частичек металла под действием электрического заряда; локального испарения материала с поверхности изделия под действием лучевой энергии (пучка электронов, луча лазера) или удаления частиц материала зернами абразивных и других материалов; гидродинамическими силами, возникающими при схлопывании кавитационных пузырей; плазменными дугой или горелкой.

Материал заготовки, подвергаемой электрической обработке, обязательно должен быть электропроводным. Группа электроэрозионных методов включает в себя электроконтактный, анодно-механический, электроискровой, электроимпульсный и высокочастотный электроимпульсный методы обработки, являющиеся результатами различных сочетаний теплового или химического действия тока, а также механического воздействия инструмента. Каждый из этих методов имеет свои особенности, технические и технологические характеристики, определяющие область их применения.

## 4.2. ЭЛЕКТРОКОНТАКТНАЯ ОБРАБОТКА

Электроконтактный метод основан на локальном нагреве образующихся в области обработки контактных перемычек — точек соприкосновения макровыступов электродов (инструмента и заготовки) и удалении размягченного или даже расплавленного металла из области обработки механическим способом за счет относительного перемещения электродов. В результате последовательно чередующихся нагрева и разрушения контактных мостиков про-

исходит прерывание тока, проходящего через зону обработки, т. е. механическое генерирование импульсов (это необходимое условие протекания эрозионного процесса). Генерирование импульсов при электроконтактной обработке может осуществляться не только за счет механического разрушения контактных мостиков, возникающего при относительном перемещении электродов или вибрации электрода-инструмента, но также и при разрушении мостиков гидравлическим способом — сильной струей жидкости.

Основными параметрами, определяющими характер процессов, возникающих в зоне обработки, являются напряжение на электродах и давление между электродами.

При низких напряжениях (до 10... 12 В) и незначительных контактных давлениях (до 0,1 МПа) съем металла осуществляется за счет нагрева при прохождении тока через перемычки, так как дуговые разряды при разрывах перемычек не возникают. При повышении контактного давления сила трения между электродами (инструментом и заготовкой) увеличивается, и процесс начинает приближаться к фрикционно-механическому, сопровождаясь значительными деформациями поверхности заготовки.

При напряжениях 20... 40 В металл удаляется дуговыми разрядами; давление между электродами практически отсутствует и процесс приближается к оплавлению электрической дугой.

В зависимости от схемы реализации — вида инструмента (работающего плоскостью или периферией диска, резца, проволочной щеткой и т. д.), характера движения (относительного перемещения электродов — инструмента и заготовки), среды, в которой протекает обработка (воздуха, реze воды или масла), а также вида используемого электрического тока (обычно переменного, а при работе с охлаждением — постоянного) электроконтактный метод имеет большое количество разновидностей.

Наиболее характерная схема электроконтактного метода обработки представлена на рис. 4.1. К электроду-инструменту, вращающемуся металлическому диску 1 через токосъемник 2 от понижающего трансформатора 3 подводится переменный ток промышленной частоты напряжением от 6 до 40 В. Другой электрод — это обрабатываемая заготовка 4, перемещающаяся в процессе обработки в требуемом направлении. Сила тока может достигать 5 000... 8 000 А.

В качестве материала инструмента применяют чугунные или медные диски, первоначальная шероховатость которых не имеет значения, так как в процессе обработки рабочая поверхность диска покрывается эрозионными впадинами и прочными пленками оксидов. Эти впадины облегчают вынос продуктов разрушения из

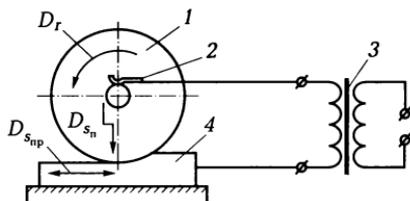


Рис. 4.1. Схема электроконтактной обработки периферией диска:

1 — электрод-инструмент; 2 — токосъемник; 3 — понижающий трансформатор; 4 — обрабатываемая заготовка;  $D_r$  — главное движение;  $D_{s_{np}}$  — движение продольной подачи;  $D_{s_n}$  — движение поперечной подачи

зоны обработки, а оксидные пленки в некоторой степени упрочняют рабочую поверхность диска.

По такой принципиальной схеме происходит электроконтактная обработка на ряде заготовительных операций (разрезка слитков, обдирка плоских и сложных (фасонных) поверхностей, предварительная обработка шаров, очистка деталей от окалины и т.д.). Шероховатость поверхности обычно бывает близка к  $Rz\ 320$  мкм.

Другая разновидность метода электроконтактной обработки — это электромеханическое точение, выполняемое по аналогичной схеме. При электромеханическом точении выделяющаяся в зоне резания теплота снижает усилия резания, одновременно повышается обрабатываемость и достигается шероховатость поверхности  $Ra\ 2,5 \dots 1,25$  мкм. Характерная особенность этого метода — упрочнение поверхности обработки, что повышает усталостную прочность деталей, работающих при нормальной температуре. Этим объясняется применение данного метода взамен шлифования.

Энергетические условия, при которых протекает процесс любого вида электроконтактной обработки, одинаковы.

При выполнении аналогичных операций электроконтактный метод в группе электрообрабатывающих методов — это один из самых энергетически эффективных методов. Например, сравнение расхода энергии для операций, аналогичных черновому шлифованию (табл. 4.1), показывает, что энергетические характеристики этого метода экономичнее на порядок.

Из анализа табл. 4.1 следует, что, будучи весьма высокопроизводительным, электроконтактный метод является в то же время самым грубым из всех эрозионных методов, поэтому его применяют в тех случаях, когда не требуется высокое качество поверхности обработки. При этом наивысшая достигаемая точность обработки соответствует 7–9-му, а при отрезке 11–12-му квалитетам.

**Таблица 4.1. Сравнение методов электрообработки по расходу энергии**

Название метода	Расход энергии, кВт·ч	Шероховатость поверхности	
		$R_z$ , мкм	$R_a$ , мкм
Электроконтактное черновое шлифование	0,8...1	320...80	—
Электроискровое шлифование	12...14	От 80	До 2,5
Анодно-механическое черновое шлифование	5...10	—	2,5...1,25
Электрохимическое шлифование	10...20	От 20	До 0,63
Анодное травление	10...40	От 80	До 2,5

На шероховатость и состояние поверхностного слоя влияют напряжение, подача и удельное давление в зоне обработки.

### **4.3. АНОДНО-МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА**

**Особенности метода.** С точки зрения физической сущности процессов, протекающих при анодно-механической обработке (АМО), она является сочетанием электротермических и электрохимических процессов и поэтому занимает промежуточное положение между электроконтактной и электрохимической обработкой. Однако в отличие от электроконтактного метода АМО проходит в жидкой токопроводящей среде — в электролите (в водном растворе жидкого натриевого стекла). В отличие от электрохимической обработки удаление продуктов распада и образующейся при электролизе пассивированной силикатной пленки, имеющей весьма большое электрическое сопротивление и высокую механическую прочность, происходит за счет механического воздействия электрода-инструмента.

Принципиальная схема АМО показана на рис. 4.2. Токоведущий электрод-инструмент 1 соединен токосъемником 2 с отрицательным полюсом выхода выпрямителя 3 и совершает два движения (вращение  $D_r$  и подачу  $D_{sn}$ ). Электрод-заготовка 4 соединен с положительным полюсом источника. В зону обработки, поливом из лотка (или сопла) 5, непрерывно подают электролит, увлекаемый

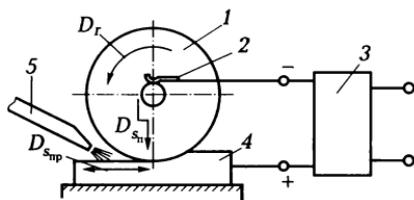


Рис. 4.2. Схема анодно-механической обработки периферией диска:

1 — электрод-инструмент; 2 — токосъемник; 3 — выпрямитель; 4 — электрод-заготовка; 5 — лоток; остальные обозначения см. на рис. 4.1

инструментом в межэлектродный промежуток. Расплавленный металл, застывающий в виде сферических гранул, удаляется из зоны обработки вращающимся электродом-инструментом.

Грубые или мягкие режимы анодно-механической обработки различаются эффективностью действия электротермических и электрохимических процессов в зоне обработки.

На **грубых режимах**, применяемых в основном на заготовительных операциях, при отрезке, обдирке и т. д., ориентированный съем металла вследствие сравнительно высокого напряжения и значительной силы тока между электродами осуществляется главным образом за счет электроэрозионных процессов.

Роль силикатной пленки сводится к обеспечению необходимой величины межэлектродного промежутка.

Пробой пленки или оплавление контактных мостиков происходит не по всей поверхности зоны обработки, а только в отдельных ее точках, соответствующих либо наиболее слабым местам пленки, либо наиболее высоким микровыступам. Остальные места остаются изолированными пленкой. На грубых режимах съем металла происходит за счет взрывоподобного расплавления, испарения и выброса металла из зоны импульсного разряда (рис. 4.3, а, зона I). Разряд возникает как при пробое анодной пленки под влиянием высокого напряжения (25...30 В) и плотности тока 1 000...2 000 мА/м<sup>2</sup>, так и за счет оплавления вершин микровыступов, контактирующих с рабочей поверхностью электрода-инструмента (см. рис. 4.3, а, зона II). Процесс проходит только в отдельных точках и не распространяется на всю поверхность обработки сразу. Точечные процессы, перекрываясь, возникают в разных точках всей поверхности обработки.

Локализация процесса и кратковременность действия импульсов, а также влияние охлаждающего действия электролита позволяют получить обработанную при грубых режимах поверхность с мень-

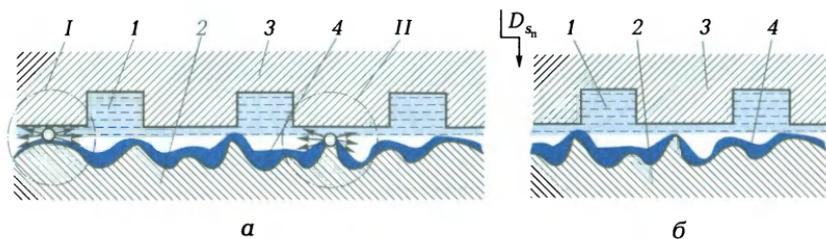


Рис. 4.3. Условия протекания анодно-механического процесса обработки периферией диска:

*а* — на грубых режимах; *б* — на мягких режимах; 1 — электролит; 2 — анод — обрабатываемая заготовка; 3 — катод-инструмент; 4 — продукты растворения; I — зона импульсного разряда; II — зона оплавления вершины микровыступа;  $D_{сн}$  — движение поперечной подачи

шими структурными изменениями, нежели при электроконтактной обработке, при той же шероховатости ( $Rz\ 80 \dots 40\ \mu\text{м}$ ) и производительности ( $2000 \dots 5000\ \text{мм}^3/\text{мин}$ ).

Очевидно, что съем металла будет происходить там, где толщина пленки меньше, отсюда и возникает возможность регулировать процесс обработки изменением удельного давления в зоне обработки подачей инструмента на обрабатываемую заготовку.

На **мягких режимах** обработка происходит за счет непрерывного удаления анодной пленки рабочей поверхностью инструмента или абразивом и возникающего на очищенных от пленки местах процесса электролитического растворения металла заготовки. Поскольку (рис. 4.3, б) удаление пассивированной пленки (следовательно, и анодное растворение) осуществляется по вершинам микровыступов, постольку происходит сглаживание поверхности. Чистовая обработка происходит при низких ( $2 \dots 6\ \text{В}$ ) напряжениях и невысоких плотностях тока ( $0,01 \dots 0,03\ \text{МА}/\text{м}^2$ ). Эрозионные процессы на мягких режимах отсутствуют и шероховатость поверхности достигает  $Ra\ 0,16 \dots 0,04\ \mu\text{м}$  при очень незначительном изменении структуры подповерхностного слоя. При этом производительность достигает всего  $3 \dots 5\ \text{мм}^3/\text{мин}$ .

Методом АМО обрабатывают заготовки из всех токопроводящих материалов, высокопрочных и труднообрабатываемых металлов и сплавов, вязких материалов.

В станках для анодно-механической обработки используют системы ЧПУ. Программа управляет скоростями движений заготовки и инструмента, поддерживает постоянство зазора в рабочем пространстве между ними, задает параметры электрического режима при переходе с черновой обработки на чистовую.

**Разновидности анодно-механической обработки.** Электроабразивная и электроалмазная обработка — это разновидности чистовой АМО. При **электроабразивной обработке** инструментом-катодом является шлифовальный круг, выполненный из абразива на электропроводящей основе. Такой основой может быть бакелитовая связка с графитовым наполнителем. Применяется также и пропитывание свинцом абразивных кругов.

Типовая схема электроабразивной обработки представлена на рис. 4.4. Торцевая часть токопроводящего круга *1* покрыта частицами абразива *2* из  $Al_2O_3$  (размер зерна 60...80 мкм). Как показано на схеме, частицы абразива *2* — изолирующая прокладка между анодом (обрабатываемой заготовкой *4*) и катодом — инструментом *1*.

Условие оптимального проведения процесса — это поддержание зазора, при котором плотность тока будет наибольшая, а короткое замыкание еще не возникает. Этот зазор сохраняют выступающие из связки абразивные частицы.

Согласно схеме, представленной на рис. 4.4 (зона обработки *A*), абразивные зерна *2* при перемещении токопроводящего круга *1* в направлении стрелки проводят съем анодной пленки и некоторого количества металла *5* заготовки *4*. Электролит подводят в зону обработки через лоток *3*. Интенсивность анодного растворения высока благодаря большой плотности тока, которая определяется размером межэлектродного промежутка 0,025...0,030 мм.

Производительность при предварительной обработке достигает 20...30 мм<sup>3</sup>/мин, при этом около 85...90 % металла снимается за счет анодного растворения и 15...10 % — за счет механического

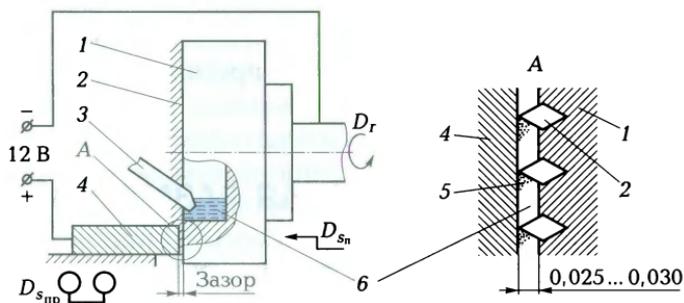


Рис. 4.4. Схема электроабразивной обработки торцом круга:

*1* — катод — токопроводящий круг; *2* — частицы абразива; *3* — лоток (или сопло); *4* — анод — обрабатываемая заготовка; *5* — снимаемый материал; *6* — электролит; *A* — зона обработки (остальные обозначения см. на рис. 4.1)

действия абразива. Удаление связки при износе круга происходит автоматически. При пробое межэлектродного промежутка в месте наименьшего зазора связка и графит в дуге разряда выгорают. Поскольку этот процесс имеет локальный характер и происходит в условиях охлаждения электролитом, существенного влияния на шероховатость и состояние поверхности искрение не оказывает.

Окружную скорость круга выбирают в пределах 8...20 м/с. Электрические режимы зависят от вида обработки. При предварительной обработке напряжение выбирают в пределах 20...25 В и силу тока 20...30 А, при окончательной — напряжение и силу тока снижают соответственно до 10...15 В и 12...15 А. Шероховатость поверхности при электроабразивной обработке достигает  $Ra$  0,16 мкм. Припуски на электроабразивную обработку выбирают в пределах 0,05...0,5 мм.

**Электроалмазную обработку** проводят по тем же схемам, но применяя электропроводные круги с тонким слоем ( $\delta = 3$  мм) алмазной крошки зернистостью А8—А10. Относительная концентрация алмазной крошки на этих кругах для предотвращения короткого замыкания достигает 100 %, что значительно выше, чем на кругах для механического алмазного шлифования.

Благодаря этому плотность тока при электроалмазной обработке может достигать 0,6...1 МА/м<sup>2</sup>, что значительно увеличивает производительность. Напряжение в зоне обработки низкое, всего 5...45 В, что исключает возникновение эрозийных процессов. Износ алмазных кругов значительно ниже, стойкость круга достигает 10 000...12 000 ч.

Окружные скорости при обработке алмазом принимают равными 25...80 м/с, а давление может быть повышено до 0,3...0,45 МПа.

По данной схеме до 25 % металла удаляется абразивным действием круга и 75 % — анодным растворением. Шероховатость поверхности достигает  $Ra$  0,16...0,08 мкм при плоскостности 0,01 мм на 100 мм.

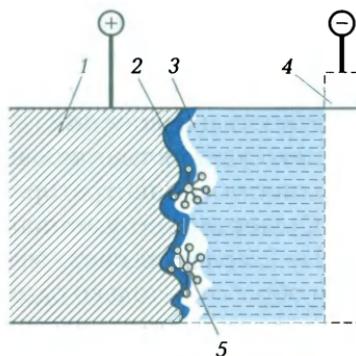
#### 4.4. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ РАЗМЕРНАЯ ОБРАБОТКА

---

В основе электрохимической размерной обработки (ЭХРО) лежит процесс анодного растворения проводящих материалов — электрополирование (рис. 4.5), заключающийся в растворении металла анода 1 под действием тока в среде электролита 3 благодаря переходу в раствор образующихся на поверхности анода солей 2

Рис. 4.5. Процесс анодного растворения:

1 — анод-заготовка; 2 — продукты растворения; 3 — электролит; 4 — катодная пластина; 5 — газы, образующиеся поляризацией анода



(4 — катодная пластина, 5 — газы). Таким образом, этот процесс можно рассматривать как обратный гальваническому осаждению.

Процесс анодного растворения, протекающий на поверхности анода-заготовки, в основном проходит (см. рис. 4.5) на микровыступах вследствие более высокой плотности тока на вершинах микровыступов и заполнения впадин непроводящими продуктами растворения. Образующиеся при поляризации анода газы способствуют разрушению пленки также главным образом на микровыступах. В результате избирательного растворения, т. е. большей скорости растворения выступов, нежели впадин, происходит сглаживание поверхности, снижается ее шероховатость (в 1,5–2 раза по сравнению с исходной, которая должна быть не ниже  $Rz\ 10 \dots 20\ \mu\text{м}$ ), появляется металлический блеск, изменяются те электрофизические характеристики заготовки, которые зависят от наличия микротрещин, удаляемых при анодном растворении.

**Возможности метода** заключаются в следующем. Применение метода ЭХРО, как показывает практика, приводит к улучшению физических и механических характеристик деталей, например, у ряда никелевых сплавов происходит улучшение электрических и магнитных свойств, повышается коррозионная стойкость. Появляется возможность обрабатывать тончайшие пленки (до 1,5... 2 мкм) для ленточных и конденсаторных микрофонов и пр.

Важной особенностью электрополированных поверхностей является то, что они не имеют деформированного и разрушенного слоя, наклепа и термических изменений. Однако при неудачно выбранных режимах могут растравливаться границы зерен. Вследствие этого, например, у жаропрочных материалов понижаются характеристики длительной прочности. Таким образом, электрополирование целесообразно применять, когда наряду со снижением шероховатости необходимо убрать дефекты предшествующей

обработки (наклеп, прижоги, микротрещины) или довести размер заготовки до требуемого.

Статические механические характеристики (кратковременная прочность и пластичность) после электрополирования не меняются. Однако усталостная прочность повышается за счет удаления с поверхности концентраторов напряжения.

Существенно уменьшается величина коэффициента трения (в 2—2,5 раза) за счет изменения микрорельефа поверхности (даже при обработке только одной из трущихся поверхностей). Это связано с уменьшением высоты микронеровностей и соответственным увеличением контактной площади.

**Сущность метода ЭХРО** состоит в проведении обработки при прокачивании электролита в щель, образованную электродами, так называемый межэлектродный промежуток. Этот процесс можно осуществлять как в электролитической ванне (рис. 4.6, а), так и в закрытой камере (рис. 4.6, б). При электрохимической обработке непрерывно подводимая в межэлектродный промежуток струя 2 свежего электролита растворяет образующиеся на аноде соли и удаляет их из зоны обработки. Чтобы удаление металла с анода-заготовки 3 осуществлялось ориентированно, участки заготовки, не нуждающиеся в обработке, изолируют, а электроду-инструменту 1 придают форму, зеркально отображающую получаемую поверхность. Для ЭХРО применяют нейтральные электролиты, с которыми металл детали или не реагирует, или реагирует слабо. По сравнению с растворами сильных минеральных кислот применяемые для размерной обработки нейтральные электролиты хотя и обладают мень-

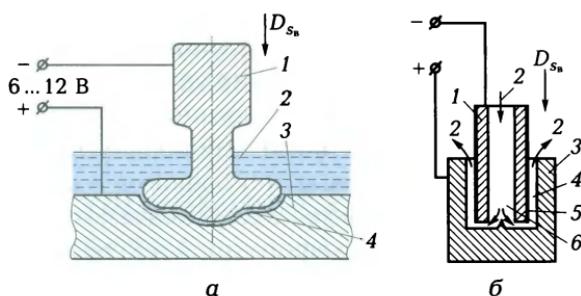


Рис. 4.6. Схема электрохимической обработки:

*а* — в электролитической ванне; *б* — в закрытой камере; 1 — электрод-инструмент; 2 — электролит; 3 — анод-заготовка; 4 — межэлектродный промежуток; 5 — изоляция инструмента; 6 — отверстие для прокачивания электролита;  $D_{sn}$  — движение вертикальной подачи

шей электропроводимостью, но зато не оказывают разрушающего действия на оборудование и практически безвредны для рабочих.

Наиболее широко применяют электролиты, состоящие из растворов солей натрия  $\text{NaCl}$ ,  $\text{NaNO}_3$  и  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , нейтральность которых достигается добавлением в электролит слабого раствора соляной кислоты.

Снятие металла интенсивнее всего происходит на периферии и менее интенсивно в центре, поэтому плоская поверхность не может быть получена плоским электродом.

Точность обработки и шероховатость поверхности зависят от точности исполнения оборудования, инструмента, приспособлений, колебаний режима, неоднородности материала и т. д. В дополнение к перечисленным факторам следует отнести факторы, имеющие отношение непосредственно к данному процессу, а именно постоянство плотности тока по всей обрабатываемой поверхности в течение машинного времени обработки  $t_m$ , постоянство межэлектродного промежутка  $h_0$ , обеспечиваемого соответствующей скоростью подачи  $v_n$ , равномерность распределения и циркуляции электролита по обрабатываемой поверхности и в межэлектродном промежутке.

В результате процессов, происходящих при электрохимической обработке, обычно выпадает осадок, поэтому необходимо не только поддерживать требуемую концентрацию и чистоту электролита, но и удалять нерастворимые продукты процесса. Многими моделями станков управляют системы ЧПУ. В процессе обработки система ЧПУ задает и контролирует величины напряжения и тока, постоянство рабочего зазора, скорость подачи электрода-инструмента, скорость потока и концентрацию электролита. Соблюдение этих параметров режима обеспечивает высокую точность и производительность обработки заготовок. На модернизированных электрохимических или электроэрозионных станках осуществляют комбинированную обработку заготовок электроэрозионно-химическим способом. Этот процесс обработки, основанный на сочетании анодного растворения и эрозионного разрушения металла, более производителен, чем электрохимический, но уступает по точности и шероховатости обработанной поверхности. Скорость обработки до 50 мм/мин; точность 0,2... 0,4 мм; шероховатость  $Ra$  10... 20 мкм.

Применяемые для размерной электрохимической обработки источники тока (машинные генераторы, выпрямители и т. д.) должны иметь напряжение 10... 20 В и обеспечивать плотность тока 0,6... 1  $\text{МА/м}^2$ , в зависимости от которых подбирают мощность источников.

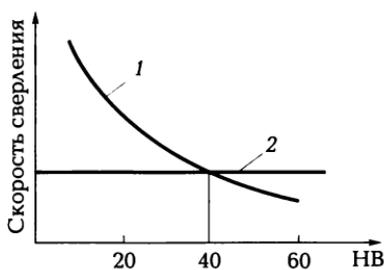


Рис. 4.7. Сравнение методов механической и электрохимической обработки:

1 — механический способ; 2 — электрохимический способ

Инструмент для такой обработки изготавливают из сплавов свинца с сурьмой, из меди, латуни, олова, чугуна, нержавеющей стали, меднографитовых композиций и т. д.

Изоляцию катода в тех местах, где не должна проходить обработка, осуществляют эбонитом, капроном, пластмассами, плексигласом и т. д.

Основные *достоинства* рассматриваемого метода — это высокая производительность, точность и требуемый микрорельеф поверхности. Например, скорость углубления инструмента для электрохимической обработки соизмерима со скоростью механического сверления и достигает 10... 12 мм/мин в материалах высокой твердости, поэтому электрохимический способ особенно эффективен при обработке материалов с твердостью выше 40 НВ (рис. 4.7). Это позволяет обрабатывать высокопрочные сплавы, карбидные материалы и т. д. При электрохимической обработке можно обеспечить точность линейных размеров до  $\pm 0,025$  мм и шероховатость поверхности  $Ra$  0,16... 0,32 мкм. При этой обработке практически отсутствует давление инструмента на заготовку и не выделяется теплота, поэтому можно обрабатывать тонкостенные заготовки, не опасаясь коробления, и получать поверхности, свободные от трещин и штрихов обработки.

## 4.5. ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ

Электрической эрозией называют процесс разрушения поверхностей электродов при пробое межэлектродного промежутка электроискровыми разрядами. Процесс электроэрозии открыт в 1943 г. Б. Р. Лазаренко и Н. И. Лазаренко.

Разрушение при этом процессе носит электротермический характер, так как при этом происходит нагревание, расплавление

и частичное испарение металла с поверхностями электродов, в результате чего на поверхности металла остаются углубления, называемые лунками.

На рис. 4.8, а показана схема образования лунки. Когда на катод и анод подают напряжение постоянного тока, то около катода образуется облако положительных ионов, которое создает около него напряженность поля порядка 10 В/м. Такой напряженности достаточно, чтобы вырывать из катода электроны даже при низкой температуре и чтобы произошел электроискровой разряд. При разряде за время  $t_p = 10^{-5} \dots 10^{-8}$  с мгновенная плотность тока в канале разряда достигает 8 000 ... 10 000 МА/м<sup>2</sup>. Температура в канале разряда возрастает до 30 000 ... 40 000 °С. Между электродами образуются электронные и ионные лавины, которые и разрушают поверхности электродов. В результате ударов частиц, обладающих высокой энергией, о поверхность электродов, температура на поверхности обрабатываемой заготовки достигает 8 000 ... 10 000 °С. При таких температурах плавятся и испаряются все известные металлы.

Эрозионная лунка при электроэрозионной обработке (ЭЭО) образуется под действием различных сил, возникающих в разные периоды процесса. В момент действия импульса тока удаление металла (до 30 % всего объема) происходит под влиянием электродинамических сил, а после прекращения действия импульса тока удалению металла способствуют возникающие в этот момент электростатические силы. На заключительных стадиях эрозионного цикла металл из лунки эвакуируется за счет действия газов, вырывающихся из нагретой до температуры 8 000 ... 10 000 °С поверхности металла. Окончательное формирование лунки происходит при захлопывании кавитационного пузыря (максимальное давление на границе которого достигает 30 МПа) и действии сил сжатия от волны термических напряжений, направленных к центру эрозионной лунки.

*Полярность тока* — прямая, когда инструмент является катодом, а заготовка — анодом (*обратная полярность* — когда наоборот). Полярность выбирают таким образом, чтобы наибольшая электрическая эрозия возникала на поверхности обрабатываемой заготовки.

Использование униполярных (однополярных) импульсов позволяет осуществить процесс избирательной эрозии, т. е. резко ослабить эрозию одного из электродов. Если электроды изготовлены из одного материала, то при импульсах малой и средней продолжительности преобладает эрозия анода, при импульсах большей длительности преобладает эрозия катода.

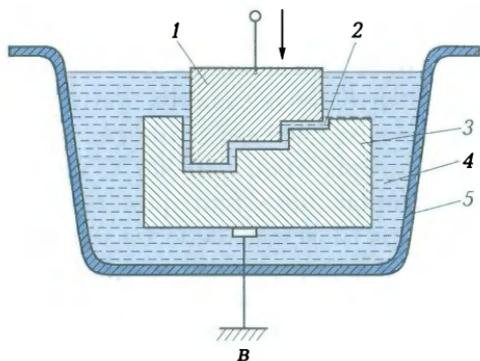
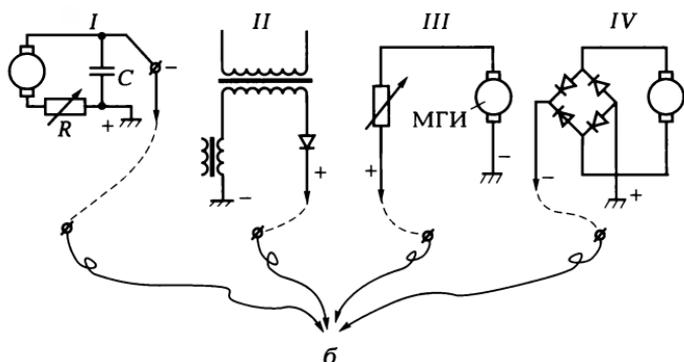
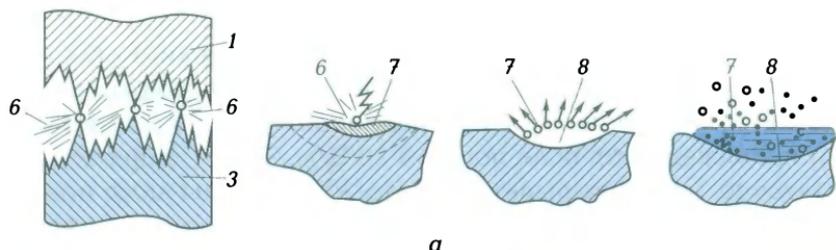


Рис. 4.8. Принципиальные схемы методов обработки:

*а* — схема последовательности возникновения разряда и образования лунки; *б* — схемы генераторов импульсов: *I* — для электроискрового метода; *II* и *III* — для электроимпульсного метода; *IV* — для высокочастотного электроэрозионного метода; *в* — размещение электродов в процессе обработки; *1* — электрод-инструмент; *2* — межэлектродный зазор; *3* — электрод-заготовка; *4* — рабочая жидкость; *5* — ванна; *6* — разряд между наиболее близкими участками поверхности; *7* — расплавление металла и его выброс; *8* — лунка, оставшаяся на поверхности; МГИ — машинный генератор импульсов

Превышение эрозии одного электрода над другим называется *полярным эффектом*. Предполагают, что полярный эффект обусловлен неравномерностью выделения теплоты на электродах.

Степень эрозии, %, катода по сравнению с эрозией анода определяется по формуле

$$\Delta V_k = \frac{V_k}{V_a} 100,$$

где  $V_k$  — интенсивность эрозии катода;  $V_a$  — интенсивность эрозии анода.

Полярность электрической эрозии считается положительной при  $\Delta V_k < 100$  %, отрицательной при  $\Delta V_k > 100$  %.

Так как электрическая эрозия проявляется наиболее интенсивно, если межэлектродное пространство заполнено диэлектрической средой, то процесс ЭЭО проводят в ванне 5, заполненной какой-либо жидкостью 4 (рис. 4.8, в): жидкими углеводородами (керосином, минеральными маслами), водными растворами электролитов и дистиллированной водой.

Удаленный в результате разрядов металл застывает в диэлектрической жидкости в виде гранул сферической формы диаметром 0,005...0,01 мм, а электрическая прочность межэлектродного промежутка восстанавливается вследствие его деионизации. Следующий импульс тока может пробить промежуток в новом месте, где межэлектродное расстояние окажется меньше.

Последовательное действие разрядов, вызывающих электрическую эрозию, приводит к образованию в заготовке выемки, представляющей собой как бы отпечаток электрода-инструмента. Зазор между электродами вследствие эрозионного разрушения металла постоянно увеличивается. Если его величина превысит расстояние, при котором возможно возникновение пробоя (0,01...0,05 мм) при заданном напряжении импульса тока, то для продолжения процесса необходимо либо повысить напряжение, либо сблизить электроды, что обычно и делают за счет подачи электрода-инструмента.

Важной характеристикой ЭЭО является скважность импульса тока

$$q = \tau_0 / \tau_{и},$$

где  $\tau_0$  — период следования импульсов, с;  $\tau_{и}$  — длительность импульса, с.

При ЭЭО используют импульсы одной полярности (униполярные), но различной формы (рис. 4.9): прямоугольной, трапецеидальной, гребенчатой с поджигом  $\tau_{пж}$ .

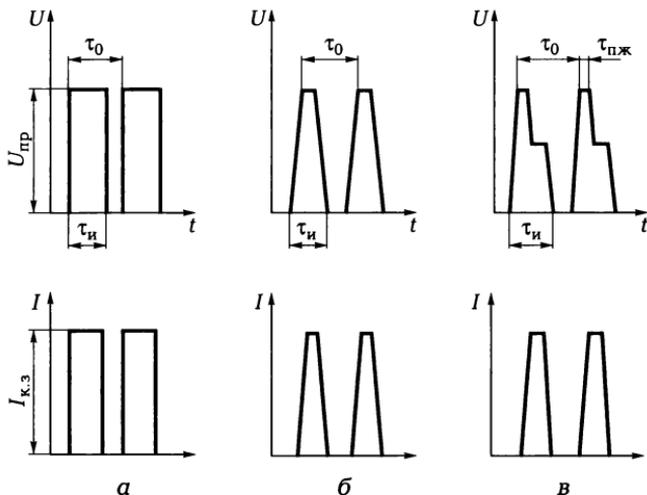


Рис. 4.9. Формы импульсов при электроэрозионной обработке:

*а* — прямоугольная; *б* — трапецидальная; *в* — гребенчатая с поджигом;  $U_{пр}$  — напряжение пробоя;  $\tau_0$  — период следования импульсов;  $\tau_{и}$  — длительность импульса;  $\tau_{пж}$  — время поджига;  $I_{к.з}$  — ток короткого замыкания;  $U$  — напряжение питания;  $t$  — время обработки

Для ЭЭО выпускают специальные станки, можно модернизировать для этой цели сверлильные станки.

Электроэрозионную обработку проводят с применением различных генераторов:  $RC$ -генераторов импульсов (электроискровая обработка), электромашинных генераторов импульсов (электроимпульсная обработка), ВЧ-генераторов импульсов (высокочастотная электроискровая обработка).

**Электроискровая обработка.** На схемах (см. рис. 4.8, б, в) источник  $I$  униполярных импульсов постоянного тока периодически возбуждает кратковременные разряды между электродом-инструментом  $I$  и электродом-заготовкой  $З$ .

Энергия источника тока через сопротивление  $R$  заряжает конденсатор  $C$  до некоторого напряжения, равного напряжению пробоя межэлектродного промежутка, и между электродами возникает электроискровой разряд. Происходит быстрое выделение энергии, накопленной конденсатором.

Источником питания обычно служат генераторы постоянного тока напряжением 30... 220 В, создающие силу тока зарядного контура в пределах 1... 5 А. Сила тока в разрядном контуре достигает при этом 100 А и более.

Чтобы межэлектродное расстояние (или разрядный промежуток) поддерживать при обработке постоянным, станки снабжают регуляторами, автоматически меняющими положение одного из электродов и регулирующими подачу.

Продолжительность интервалов между импульсами должна обеспечивать деионизацию межэлектродного промежутка и удаление из него продуктов эрозии и газовых пузырьков, препятствующих повторению процесса разряда. Поэтому частота повторения импульсов при увеличении их энергии снижается.

Производительность электроэрозионной обработки определяется количеством металла, снятого с обрабатываемого изделия в единицу времени, и измеряется в  $\text{мм}^3/\text{мин}$  или  $\text{г}/\text{мин}$ . Производительность

$$Q = CP; P = Af,$$

где  $C$  — коэффициент, зависящий от теплофизических свойств материала;  $P$  — мощность, Вт;  $A$  — энергия импульсов, Вт · с;  $f$  — частота, импульс/с.

Производительность процесса зависит от того, с какой частотой следуют разряды и какое количество металла выброшено при каждом разряде. Максимальная производительность при обработке стали —  $330 \text{ мм}^3/\text{мин}$ .

Большое влияние на производительность оказывает материал электрода. Основное требование к нему — высокая эрозионная стойкость. Этим требованиям лучше всего отвечают латунь ЛС63, красная медь и меднографитовая композиция. Форма электрода должна полностью соответствовать форме прошиваемого отверстия, но иметь несколько меньшие размеры. Величина зазора, образование которого происходит из-за возникновения разрядов между электродом и боковой стенкой прошиваемого отверстия, колеблется в пределах  $0,02 \dots 0,25 \text{ мм}$  в зависимости от режима, материалов электрода и обрабатываемой заготовки.

Шероховатость получаемой поверхности, точность и производительность зависят от режимов обработки, которые подразделяют на четыре группы (табл. 4.2 и 4.3): жесткий, средний, мягкий, особо мягкий.

Точность обработки зависит главным образом от выбранного режима, способа подвода рабочей жидкости, точности станка и типа электрода и не зависит от размеров обрабатываемой заготовки. Обычно точность находится в пределах  $20 \dots 200 \text{ мкм}$ . Наибольшая точность получается при работе на особо мягком режиме ( $\pm 0,002 \text{ мм}$ ).

**Таблица 4.2. Зависимость состояния поверхности от режимов обработки**

Режим обработки	Емкость конденсатора, мкФ	Энергия одиночного импульса, Дж	Шероховатость поверхности, мкм	Глубина дефектного слоя, мм
Жесткий	100	0,5...5	Rz 160...180	0,2...0,5
Средний	10...100	0,05...0,5	Ra 1,25	0,02...0,06
Мягкий	1...10	0,005...0,05	Ra 0,63	0,003...0,02
Особо мягкий	0,01...1	0,00005...0,005	Ra 0,32...0,16	0,002

Наиболее распространенные операции электроэрозионной обработки с применением RC-генераторов — прошивка и шлифование (последнее целесообразно в тех случаях, когда не допускается охлаждение), причем производительность этих способов значительно ниже механического сверления и шлифования.

Возможны также следующие операции: обработка отверстий малого диаметра; получение металлических порошков; извлечение из отверстий остатков сломанного инструмента и крепежных деталей; поверхностное упрочнение инструментов; изготовление рабочих частей штампов и волок; маркировка и др. При этом качество поверхности таково, что обычно требуется абразивная доводка.

**Электроимпульсная обработка.** Электроимпульсной называют разновидность электроэрозионной обработки (см. рис. 4.8, б), которая характеризуется следующими особенностями:

- применением униполярных импульсов тока длительностью 500...10 000 мкс (обычно около 1 000 мкс), скважностью 1...10, благодаря чему износ инструмента составляет всего 0,1...0,3 %;

**Таблица 4.3. Зависимость технологических характеристик процесса от режимов обработки**

Режим обработки	Производительность, мм <sup>3</sup> /мин	Энергетические затраты	
		кВт · ч/Н	ГВт · ч/м <sup>3</sup>
Жесткий	200...400	5...10	0,4...0,8
Средний	50...150	4...6	0,3...0,5
Мягкий	1...20	6...14	0,5...0,12
Особо мягкий	0,01...0,1	—	—

- высокой производительностью, достигающей 5 000 ... 10 000 м<sup>3</sup>/мин на грубых режимах;
- высокой шероховатостью обрабатываемой поверхности, находящейся вне класса на грубых режимах и достигающей *Rz* 80 ... 40 мкм на наиболее мягких режимах;
- малым относительным износом электродов-инструментов, составляющим для графита 0,1 ... 0,5 %;
- применением обратной полярности — электрод-инструмент присоединяют к положительному полюсу источника тока;
- применением в качестве источников тока преимущественно машинных генераторов импульсов низкой и средней частоты (400 ... 3 000 Гц);
- работой преимущественно на низких напряжениях (25 ... 30 В) и больших силах тока (50 ... 500 А).

Высокие мощности, реализуемые в импульсах, позволяют проводить производительную предварительную обработку штампов, турбинных лопаток, твердосплавных деталей, осуществлять прошивку фасонных отверстий в деталях из нержавеющей и жаропрочных сплавов, с трудом поддающихся механической обработке.

Материалами для электродов-инструментов служат углеграфитовые композиции И23; В1; ЭЭГ; изредка применяются медные электроды марок М1 и М2. Обработка ведется в соляровом или трансформаторном масле.

**Высокочастотная электроэрозионная обработка.** Как видно из табл. 4.2, при электроискровой обработке высокое качество поверхности (*Ra* 0,32 ... 0,16 мкм) обеспечивается прежде всего за счет небольшой энергии (от  $10^{-5}$  до  $10^{-3}$  Дж) импульсов, реализуемых в электродном промежутке. Однако производительность при этом (см. табл. 4.3) резко уменьшается. Высокочастотный электроэрозионный метод обработки, предложенный В. Ю. Вероманом, дает возможность получать и высокое качество поверхности и достаточно высокую производительность. Этот метод основан на повышении частоты следования эрозионных импульсов, обладающих малой энергией.

Электроэрозионный высокочастотный (ВЧ) метод (см. рис. 4.8, а, поз. IV) является наиболее точным, позволяющим обрабатывать детали с чистотой до *Ra* 0,32 мкм при производительности, в 30 — 50 раз превышающей производительность чистовых режимов электроискрового метода.

Обработка при электроэрозионном ВЧ-методе осуществляется с помощью специальных импульсов. Малая энергия этих импульсов обеспечивает высокую чистоту обработанной поверхности; высо-

кая частота следования импульсов позволяет получить большую производительность, так как при одной и той же энергии импульса интенсивность съема обрабатываемого материала прямо пропорциональна частоте следования импульсов; малая длительность импульса предотвращает возникновение микротрещин на обработанной поверхности, а постоянство амплитуды способствует повышению точности обработки. Импульсы генерируют специальными генераторами *IV* с частотой 100... 150 кГц при скважности 2—3. Обработку проводят в среде 4 (см. рис. 4.8, *в*) керосина, трансформаторного масла и т. д., а также в слабых электролитах и просто в водопроводной воде. При использовании слабых электролитов (растворов кислот, солей, щелочей) производительность снижается на 25... 30 %, но одновременно в 10—12 раз уменьшается износ инструмента 1.

В качестве материала инструмента при ВЧ-обработке используется медь, а также бронзы БрАЖМц, латунь ЛС-59-1 и серый чугуун.

Униполярность импульсов обеспечивает малый износ электрода инструмента, так как при коротких импульсах есть явно выраженный полярный эффект, заключающийся в том, что анод более чем катод подвержен эрозии.

## 4.6. УЛЬТРАЗВУКОВАЯ РАЗМЕРНАЯ ОБРАБОТКА

Ультразвуковой (УЗ) размерной обработкой называют направленное разрушение твердых и хрупких материалов, проводимое при помощи инструмента 7 (рис. 4.10), колеблющегося с ультразвуковой частотой и оказывающего на обрабатываемую поверхность заготовки 6 ударное действие при помощи мельчайших зерен абразивного порошка, вводимого в виде суспензии 4 в зазор между торцом инструмента и изделием 6.

Некоторую роль в происходящем процессе играют и гидравлические удары, возникающие в результате кавитации.

Относительно высокая производительность УЗ-обработки, несмотря на ничтожно малую производительность каждого единичного удара, обусловлена большой частотой колебаний инструмента (16... 30 тыс. в секунду) и большим количеством зерен (20... 100 тыс. на 1 см<sup>2</sup>), одновременно движущихся с большим ускорением и ударяющих по обрабатываемой поверхности.

Под ударами зерен абразива скалываются мелкие частицы материала изделия. Съем материала происходит в основном с площадок,

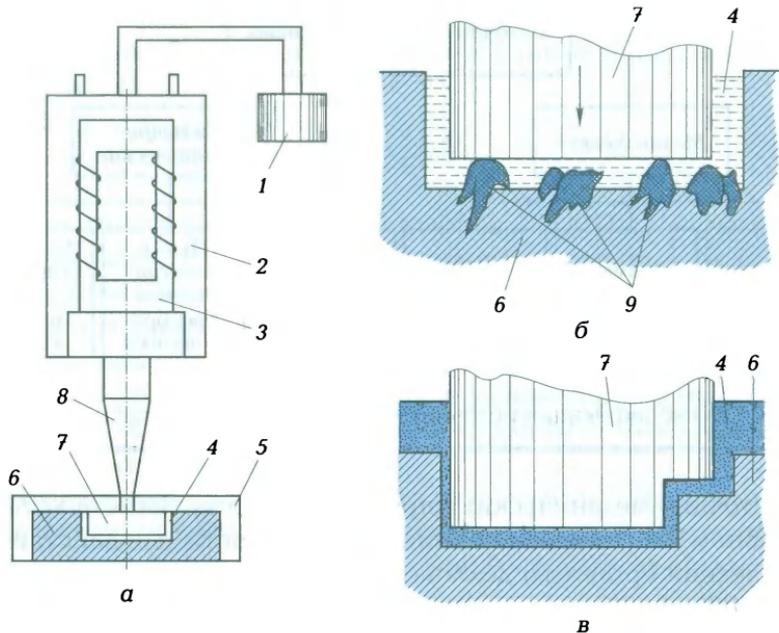


Рис. 4.10. Ультразвуковая размерная обработка прошиванием (долблением):

*а* — принципиальная схема; *б* — схема съема материала при ультразвуковом прошивании; *в* — схема воспроизведения профиля инструмента в заготовке: 1 — генератор тока повышенной частоты; 2 — корпус магнитоисторикатора с охлаждающей водой; 3 — магнитоисторикатор (пакет с обмоткой); 4 — зазор, заполненный суспензией абразива; 5 — ванна; 6 — обрабатываемая заготовка; 7 — инструмент; 8 — концентратор-волновод (трансформатор амплитуды); 9 — частички абразива (зерна)

проектирующихся на плоскость, перпендикулярную к направлению колебаний инструмента.

Обработке поддаются хрупкие материалы типа стекла, твердого сплава, кварца, турмалина, корунда, радиокерамики, ферритов и т. д., а также полупроводниковые материалы, частицы которых скалываются ударами зерен абразива. Вязкие материалы (незакаленная сталь, латунь) плохо обрабатываются УЗ-способом, так как под ударами зерен абразива не происходит сколов, зерна вкрапливаются в обрабатываемый материал.

С помощью размерной УЗ-обработки можно выполнять такие операции, как фрезерование, шлифование, точение, разрезание, нарезание резьбы, долбление, прошивание.

**Методы возбуждения УЗ-колебаний.** Основой всяких УЗ-методов обработки или интенсификации технологических процессов явля-



Рис. 4.11. Классификация источников ультразвуковых колебаний

ется источник механических упругих колебаний, частота которых в основном по условиям техники безопасности (воздействие на человеческий организм) должна лежать выше верхнего звукового порога: 16...20 кГц.

В качестве источников УЗ-колебаний используются излучатели механического или электромеханического типа (рис. 4.11). Механические излучатели применяют в основном для создания УЗ-колебаний в газообразной среде или в воздухе. Электромеханические преобразователи используют в тех случаях, когда требуется возбудить УЗ-колебания в жидкой среде или в твердом теле. Каждому методу возбуждения УЗ-колебаний соответствует свой частотный диапазон и совокупность энергетических характеристик, что и определяет область их применения.

При размерной УЗ-обработке наиболее широко применяют магнито-стрикционные преобразователи (магнито-стрикторы).

**Магнито-стрикционные преобразователи.** Магнито-стрикторы включают в себя магнитопровод с обмоткой. Принцип действия магнито-стрикционного преобразователя основан на использовании эффекта магнито-стрикции, который заключается в изменении *размеров ферромагнитных материалов* в переменном магнитном поле. Способность магнитопровода менять размеры оценивается в единицах относительного магнито-стрикционного удлинения

$$\varepsilon_m = \Delta l / l,$$

где  $\Delta l$  — амплитуда колебания длины сердечника вдоль магнитного поля;  $l$  — первоначальная длина сердечника.

Величина относительного удлинения зависит от упругих и электромагнитных характеристик материала, а также от напряженности магнитного поля

$$\varepsilon_m = -\frac{\gamma}{E} \mu H,$$

где  $\gamma$  — магнитострикционная постоянная, Э · МПа;  $\mu$  — магнитная проницаемость;  $H$  — напряженность магнитного поля, Э;  $E$  — модуль упругости первого рода, МПа.

Для некоторых магнитострикционных материалов характерные зависимости  $\varepsilon_m = f(H)$  представлены на рис. 4.12, а. Из графика следует, что относительные линейные удлинения весьма малы, составляют всего до  $5 \cdot 10^{-6}$  см на сантиметр длины, и знак деформации может быть различным.

Магнитострикционный эффект, кроме того, существенно зависит от температуры и при достижении точки Кюри полностью исчезает (у пермендюра, например, при  $960^\circ\text{C}$ , у всех остальных — даже при более низкой температуре). Все эти явления хорошо объясняются теорией доменов. Поскольку за один период изменения напряжения магнитное поле возникает дважды, постольку частота колебаний магнитопровода вдвое больше возбуждающей частоты.

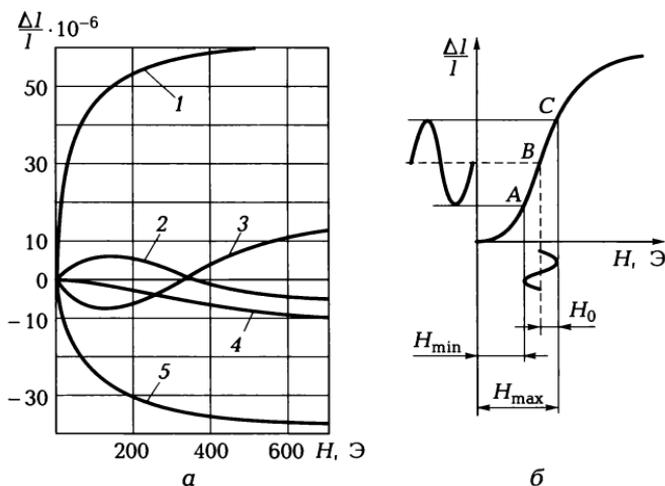


Рис. 4.12. Зависимость (а) относительного магнитострикционного удлинения  $\varepsilon_m$  от напряженности поля  $H$  и схема (б) выбора рабочего участка  $ABC$  характеристики  $\varepsilon_m = f(H)$ :

1 — пермендюр; 2 — железо; 3 — литой кобальт; 4 — отожженный кобальт; 5 — никель

Чтобы сделать частоту колебаний вибратора равной возбуждающей, применяют подмагничивание постоянным напряжением, бóльшим, чем амплитуда переменного напряжения. Такой вибратор носит название поляризованного. Максимальная амплитуда колебаний поляризованного вибратора достигается выбором рабочей точки на наиболее крутом участке  $ABC$  (рис. 4.12, б) кривой  $\epsilon_m = f(H)$  магнитострикционной деформации. На кривой дано соотношение напряженности подмагничивания  $H_0$ , амплитуды колебаний магнитного поля  $H_{\max} - H_{\min}$  и магнитострикционного удлинения  $\epsilon_m$ .

Максимальная амплитуда колебаний магнитопровода будет при равенстве возбуждающей частоты магнитного поля и собственной частоты упругих колебаний сердечника или при кратных ей гармониках.

В случае резонанса  $\Delta I_{\max} = (10^{-5} \dots 10^{-4})I$  амплитуду колебаний инструмента 7 (см. рис. 4.10, а) можно увеличить, если крепить инструмент не к самому сердечнику магнитостриктора 3, а через концентратор 8 (акустический трансформатор), коэффициент трансформации которого зависит от отношения площадей

$$N = d_0/d_{\text{и}},$$

где  $d_0$  — диаметр у торца концентратора, мм;  $d_{\text{и}}$  — диаметр торца вибратора, несущего инструмент, мм.

Аналогично определяют коэффициент усиления, равный отношению амплитуды выходного торца к амплитуде на входе:

$$K = \Delta I_{\text{вых}}/\Delta I_{\text{вх}}.$$

В зависимости от характера изменения площади по длине акустического трансформатора он может быть ступенчатым, коническим, катеноидальным, экспоненциальным и т.д. Для небольших коэффициентов трансформации (2...3) все перечисленные формы трансформаторов дают примерно одинаковое усиление, однако при коэффициенте трансформации 8...10 наибольший коэффициент усиления будет у тех трансформаторов, форма которых ближе к экспоненциальной и которые также оказываются менее критичными при уходе резонансной частоты в случае изменения длины инструмента при его износе.

Для получения более высоких коэффициентов усиления применяют составные концентраторы, образуемые соединением стержней постоянного и переменного сечений (рис. 4.13).

**Конструктивное оформление акустических узлов.** Типовой акустический узел (основной элемент УЗ-станка) представлен на рис. 4.10, а. Элементы акустического узла — это магнитостриктор 3, по-

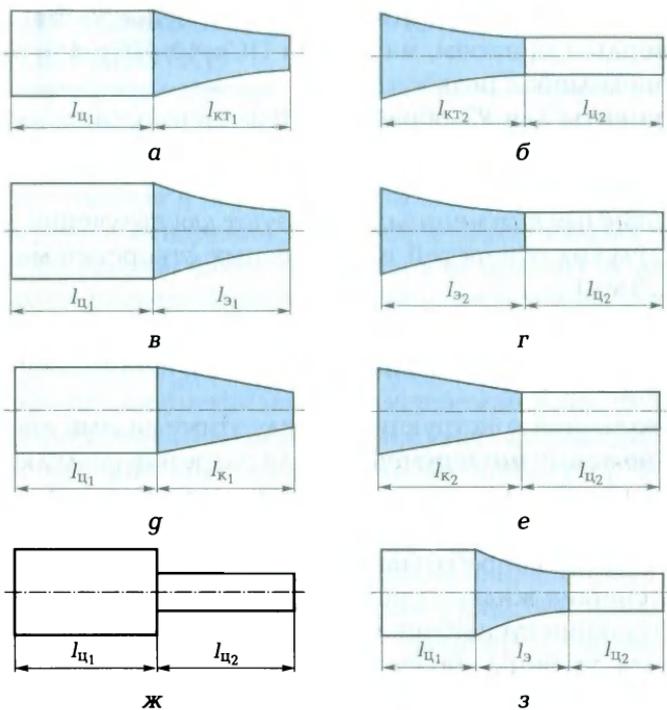


Рис. 4.13. Составные концентраторы различных типов:

*a* — катеноидальный рупор, соединенный широкой частью с цилиндрической частью; *б* — то же, с узкой частью; *в* — экспоненциальный с узкой частью; *г* — то же, с широкой частью; *г* — конический, с широкой частью; *е* — то же, с узкой частью; *ж* — ступенчатый цилиндрический; *з* — ступенчатый с небольшим переходным стержнем для приваривания заготовки:  $l_{ц1, 2'}$ ,  $l_{к1, 2'}$ ,  $l_{э1, 2, 2'}$ ,  $l_{к1, 2}$  — соответственно длина цилиндрической, катеноидальной, экспоненциальной, конической части;  $l_э$  — длина переходника

лучающий энергию от электрического генератора ультразвуковой частоты; концентратор-волновод *в*, передающий механическую энергию инструменту *г*, осуществляющему долбление; корпус 2 магнитоотриктора с охлаждающей водой, связывающий колебательную систему со станиной станка (последняя на рис. 4.10, *a* не показана). В колебательную систему входит также и нагрузка — обрабатываемая заготовка *б*.

Обычно магнитоотрикторный вибратор представляет собой пакет из тонких (0,1...0,3 мм), изолированных друг от друга пластин магнитоотрикторного материала (никеля, альфера и т.д.). При использовании сплошных магнитопроводов (или собранных из трубок) возникают большие потери на вихревые токи.

Концентратор с пакетом соединяют либо непосредственно (припаивая твердым припоем, например ПСр-40, ПСр-45), либо припаивая переходник с резьбой.

**Инструменты для УЗ-обработки.** В зависимости от назначения все инструменты для УЗ-обработки подразделяют на сплошные и пустотелые.

**Сплошные инструменты** используют для получения закрытых полостей, глухих отверстий или сквозных отверстий малого диаметра (1...3 мм).

**Пустотелые инструменты** применяют при сквозной вырубке деталей из массива, прошивке сквозных отверстий больших диаметров и т. д.

Промежуточной конструкцией между этими видами инструмента являются **ножевые инструменты** (для разрезки, разделки пластин на заготовки), обычно их выполняют многолезвийными.

**Производительность УЗ-способа** зависит от физических свойств материала обрабатываемой заготовки, вида и зернистости абразива, состава жидкой среды и концентрации суспензии, скорости циркуляции суспензий, силы подачи и амплитуды колебаний инструмента, глубины обработки и т. д.

**Технологические характеристики УЗ-обработки.** Точность и шероховатость обработанной поверхности на УЗ-станках в основном зависят от величины зерна в суспензии; с уменьшением диаметра зерна качество поверхности и точность повышаются. Применение абразивов с зернистостью M20, M10 позволяет получить точность до 0,01 мм при шероховатости  $Ra$  0,16...0,08 мкм. Обычно достигаемые точность (при соответствующей квалификации рабочего) составляет 0,02...0,03 мм и шероховатость —  $Ra$  0,63... 0,032 (абразив — карбид бора № 3). Таким образом, точность обработки на УЗ-станках (0,01...0,015 мм) ниже, чем на электроискровых, где может быть достигнута точность 0,005 мм. Шероховатость боковых поверхностей при УЗ-обработке получается в 4 раза выше, чем торцовых, что связано с движением суспензии. Стенки отверстий получаются конусными; для зерен диаметром 120...150 мкм средняя конусность составляет 3...3,5°, для зерен диаметром 40...50 мкм — 1...1,5°.

Точность обработки можно повысить, если после чистовой УЗ-обработки применять УЗ-доводку. Область применения УЗ-обработки охватывает главным образом операции раскроя, прошивки и формообразования изделий из хрупких нетокопроводящих материалов (стекла, керамики, ферритов и др.), хотя этот вид обработки можно применять и при изготовлении деталей из алмазов, твердых сплавов и т. д.

## 4.7. ЛУЧЕВЫЕ МЕТОДЫ РАЗМЕРНОЙ ОБРАБОТКИ

Высокая плотность энергии сфокусированного электронного луча (так же, как и светового луча ОКГ (оптического квантового генератора — лазера<sup>1</sup>)) позволяет проводить размерную обработку за счет нагрева и испарения материала с узлокального участка. При этом обрабатываемость материалов не зависит от их механических характеристик. Поэтому магнитные материалы и керамика, легированные стали и ферриты, твердые сплавы и корунд обрабатываются одинаково успешно. Наиболее существенно влияют на обрабатываемость теплофизические характеристики.

Возможность точно дозировать энергию луча позволяет осуществлять широкий круг технологических процессов — от местной термообработки, зонной очистки и сварки до механической обработки.

Оба метода позволяют проводить такие операции, как разрезку материалов, получение фасонных поверхностей, обработку отверстий, затачивание инструментов, балансировку вращающихся деталей. Поскольку инструментом является сфокусированный луч, постольку вопрос об износе инструмента так же, как и об ошибках, связанных с этим износом, полностью снимается.

**Размерная обработка электронным лучом (РОЭЛ).** При обработке электронным лучом расплавление и испарение материала происходят за счет повышения его температуры при резком торможении потока электронов в месте встречи с обрабатываемой поверхностью.

Чтобы получить мощный поток электронов, электронный пучок, излучаемый вольфрамовым катодом в электронной пушке (рис. 4.14), ускоряют напряжением, приложенным между катодом и анодом, юстируют и фокусируют при помощи системы магнитных линз. Стигматор придает лучу круглую форму, а перемещает луч по поверхности изделий отклоняющая система. Кроме того, изделие, закрепленное на координатном столике, само может перемещаться относительно луча. Все устройство находится в вакуумной камере. Энергия луча (в электрон-вольтах) пропорциональна заряду электронов, их количеству и величине ускоряющего напряжения.

Однако локальная точечная обработка материала непрерывным потоком электронов невозможна, поскольку для быстрого испарения материала требуется нагрев до температуры, превышающей его

<sup>1</sup> Слово «лазер» составлено из первых букв английской фразы «Light Amplification by Stimulated of Radiation», что означает «усиление света с помощью вынужденного излучения».

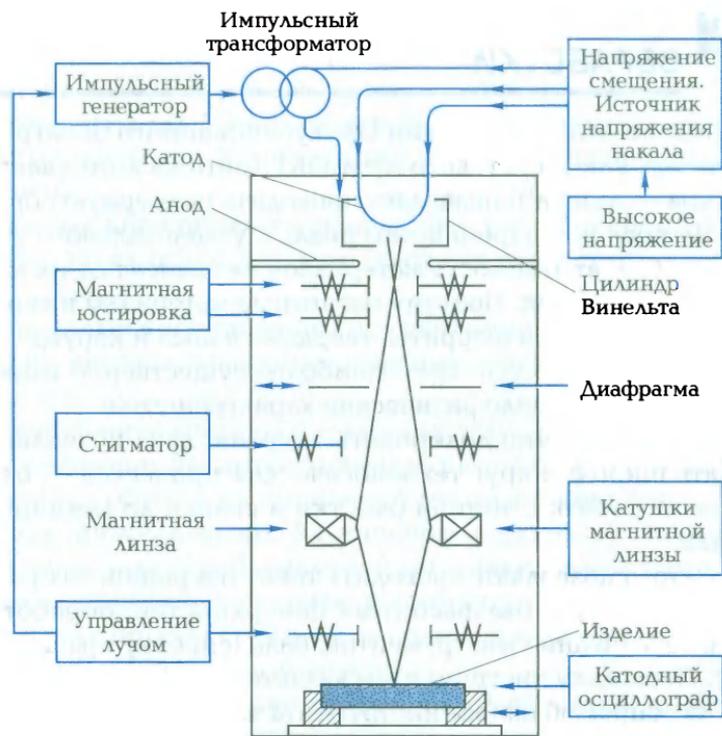


Рис. 4.14. Схема установки для электронно-лучевой обработки

температуру плавления, и поэтому непрерывное облучение области обработки приводит к ее перегреву и к возникновению широкой зоны оплавления.

При размерной обработке заготовок электронная пушка работает в импульсном режиме, что обеспечивает локальный нагрев заготовки. Требуемое распределение температур достигается чередованием мощных импульсов и пауз (во время которых происходит отвод теплоты); таким образом, средняя температура зоны обработки остается ниже точки плавления. Аналогичного эффекта достигают при быстром перемещении луча по обрабатываемой поверхности.

Энергетические характеристики электронного луча существенно зависят от его фокусировки, например, импульс мощностью 1 кВт на поверхности диаметром 0,02 мм создает мгновенную плотность энергии  $5 \cdot 10^6$  МВт/м<sup>2</sup> при длительности 3... 4 мс.

*Достоинство* этого метода — возможность регулировать энергетические характеристики луча в широких пределах, а также легкость управления лучом при помощи отклоняющей системы.

Метод РОЭЛ перспективен при обработке отверстий диаметром  $10 \dots 10^3$  мкм, прорезании пазов, резке заготовок, изготовлении тонких пленок и сеток из фольги. Обрабатывают заготовки из труднообрабатываемых металлов и сплавов, а также из неметаллических материалов: рубина, керамики, кварца, полупроводниковых материалов. Вакуумные среды позволяют обрабатывать заготовки из легкоокисляющихся активных материалов.

С помощью электронного луча можно наносить покрытия на поверхности заготовок в виде пленок толщиной от нескольких микрон до десятых долей миллиметра.

**Размерная обработка световым лучом (РОСЛ).** Световой луч для технологических целей создается лазером — установкой, обеспечивающей усиление светового потока путем возбуждения эмиссии излучения. Усилители излучения подразделяют на лазеры и мазеры. Первые работают в видимой части электромагнитного спектра (свет), а вторые — в области инфракрасного (ИК) излучения или радиочастот. По агрегатному состоянию усилители подразделяют на твердые с пульсирующим или с непрерывным излучением и газовые с непрерывным излучением, применяют также полупроводниковые лазеры.

**Принцип действия лазера** заключается в следующем. Атомы вещества могут обладать определенной энергией и удерживаться на определенных (стационарных) энергетических уровнях. Наиболее устойчивое состояние соответствует минимальной энергии. Если атому сообщить энергию извне, он перейдет на более высокую энергетическую ступень, т. е. будет возбужден его состояние неустойчиво, и если подвод энергии извне прекращается, атом возвращается в исходное состояние с эмиссией (испусканием) определенного кванта (фотона) электромагнитной энергии. Такая эмиссия называется спонтанной (самопроизвольной) и наблюдается, например, при флюоресценции, когда в результате возбуждения атомов вещества фотонами эти атомы, возвращаясь в исходное состояние, беспорядочно излучают световые фотоны. Усиление излучения в лазерах достигают за счет так называемой индуцированной (вынужденной) эмиссии.

**Достоинства РОСЛ** заключаются в том, что для обработки не требуется создания вакуума, при котором значительно труднее управлять технологическим процессом; нет рентгеновского излучения, сопутствующего обработке лучом электронной пушки; лазерные установки конструктивно проще электронных пушек; в некоторых случаях механическая обработка может осуществляться за прозрачной преградой (например, в запаянной колбе).

Главный недостаток обработки световым лучом — это отсутствие надежных методов управления движением луча по обрабатываемой поверхности, поэтому при обработке перемещается сама заготовка. Из всех известных типов ОКГ (твердотельных, газовых и полупроводниковых) в технологии пока нашли применение лишь твердотельные лазеры на кристалле рубина (окиси алюминия, активированной 0,05 % хрома), дающего выходную энергию излучения до 40 Дж, или на стеклянных стержнях, активированных неодимом (выходная энергия достигает 100... 120 Дж).

Принцип работы ОКГ, используемого для технологических целей, можно показать на примере такого твердотельного лазера (рис. 4.15).

Инверсия населенностей в твердотельных лазерах создается оптической накачкой с помощью ламп-вспышек, световой поток которых поглощается рабочим веществом, возбуждая его.

Питание лампы-вспышки В осуществляется от источника  $\delta$  (рис. 4.15, а). Для лучшей концентрации светового потока на элементе П применяется рефлектор Г. Значительная часть энергии (до 50 %), поглощенной активным элементом П, тратится на его нагрев, ухудшающий работу ламп. Чтобы исключить это, применяют блок охлаждения 1. Луч света, испускаемый активным элементом, усиливается за счет многократного отражения от глухого зеркала Е и выходного полупрозрачного зеркала Ж и выходит из оптического резонатора в виде узконаправленного светового луча с малым углом расходимости, который с помощью оптической системы 4 можно сфокусировать в точку, линию, группу параллельных лучей, окружность и т. д.

Диапазон длин волн, генерируемых различными типами лазеров, весьма широк и составляет примерно 0,1... 70 мкм. Для технологических целей обычно используют ОКГ, у которых длина волн  $\lambda$  находится в пределах 0,4... 10,6 мкм. Диаметр луча на выходе ОКГ без системы 4 определяется размерами активного элемента и зависит в основном от энергии накачки  $W_n$ . Несмотря на то, что лазерный луч высококогерентен, он имеет определенную угловую расходимость  $\theta$ , которая определяется как

$$\theta = 4\lambda / (\pi d_\lambda),$$

где  $d_\lambda$  — диаметр луча в месте его выхода из резонатора.

Практически из-за дифракционных явлений величина  $\theta$  на 1–2 порядка больше расчетной и составляет единицы или несколько десятков угловых минут.

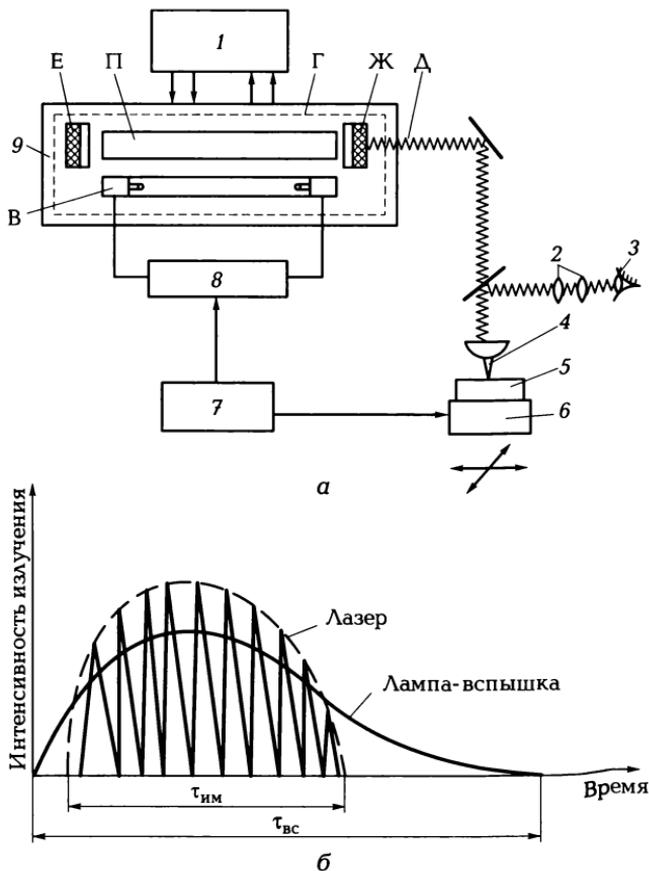


Рис. 4.15. Схема ОКГ на твердом теле (а) и структура импульса излучения (б):

1 — блок охлаждения; 2 — наблюдательная система; 3 — глаз; 4 — оптическая система; 5 — заготовка; 6 — рабочий стол; 7 — блок управления; 8 — источник питания лампы накачки; 9 — лазерная головка; П — активный элемент; Е, Ж — глухое и полупрозрачное зеркала резонатора; В — лампа-вспышка; Г — рефлектор; Д — лазерный луч;  $\tau_{им}$  — длительность импульса излучения лазера;  $\tau_{вс}$  — длительность импульса лампы-вспышки

Длительность импульса  $\tau_{им}$  излучения лазера определяется длительностью импульсного разряда лампы-вспышки В, оптическими свойствами активного элемента, свойствами резонатора и температурным режимом. У твердотельных ОКГ  $\tau_{им} = 0,1 \dots 5$  мс, при этом на протяжении всего импульса генерация происходит отдельными пичками, последовательность которых, как правило, нерегулярная,  $\tau_{пич} = 1 \dots 5$  мкс, а длительность интервала между

пичками составляет 0,1 ... 0,5 мкс в течение основного времени генерации и может увеличиваться до десятков и сотен микросекунд в конце светового импульса (рис. 4.15, б). Средняя мощность импульсного излучения твердотельных ОКГ лежит в диапазоне от единиц до сотен киловатт. Мощность газовых лазеров на нейтральных атомах составляет милливатты, а молекулярных — от единиц до сотен ватт. В последнее время разработаны CO<sub>2</sub>-лазеры с быстрой поперечной прокачкой газа, циркулирующего в замкнутом объеме. При сравнительно небольших габаритах на них удается получить уровни мощности 6 ... 10 кВт в непрерывном режиме генерации.

Выходная энергия твердотельных лазеров находится в пределах от долей джоуля до тысяч джоулей, а КПД их не более 1 ... 2 %.

Система нуждается в охлаждении, так как при температуре выше 70 °С эффективность работы ухудшается.

Средняя плотность потока энергии в поперечном сечении луча при использовании фокусирующих оптических систем может достигать 10<sup>12</sup> МВт/м<sup>2</sup>, сварка и резка тонких пленок осуществляется при плотностях менее 10<sup>4</sup> МВт/м<sup>2</sup>, а размерная обработка материалов значительной толщины — при плотностях потока энергии более 10<sup>2</sup> ... 10<sup>3</sup> МВт/м<sup>2</sup> и длительности импульса менее 1,5 мс.

**Анализ условий формообразования при обработке лучом ОКГ.** Тепловой эффект в зоне обработки возникает вследствие торможения потока фотонов в тонких поверхностных слоях материала. Глубина обработки определяется в основном длительностью импульса облучения и положением фокуса управляющей линзы относительно поверхности. Вследствие того, что фокус в процессе обработки (рис. 4.16) может оказаться на поверхности заготовки, под поверхностью заготовки или над поверхностью заготовки, имеем три различных случая обработки.

При совпадении фокуса с поверхностью, при действии каждого импульса последовательно возникают две фазы — квазистатическая (как бы равновесная), характерная постепенным нагревом зоны обработки, что уменьшает прочностные связи обрабатываемого материала с основным массивом, и динамическая, заключающаяся во взрывоподобном удалении жидких и газообразных продуктов облучения из кратера.

При расположении фокуса в толще обрабатываемого материала на некоторой глубине под поверхностью образуется тепловое ядро, из которого в конце импульса через каналы проводимости вырывается расплавленный металл в виде жидкой или паровой фазы. Стенки канала истечения оказываются оплавленными.

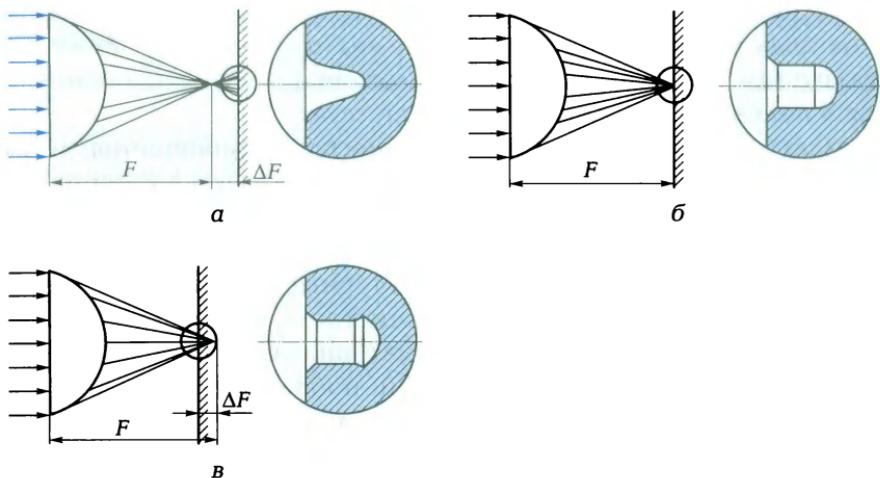


Рис. 4.16. Образование отверстий:

*a* — фокус луча лазера выше обрабатываемой поверхности; *б* — фокус на обрабатываемой поверхности; *в* — фокус ниже обрабатываемой поверхности:  $F$  — фокусное расстояние;  $\Delta F$  — расстояние между фокусом луча и обрабатываемой поверхностью

При расположении фокального пятна над поверхностью обработки в фокальной области возникает высокотемпературная плазма, вызывающая при высоких плотностях энергии пробой газа, фронт которого распространяется к фокусирующей линзе, что приводит к поглощению части энергии; однако остальная часть энергии взаимодействует с верхними слоями заготовки, причем, как и в предыдущих случаях, могут осуществляться квазистатическая и динамическая фазы. При значительных смещениях фокуса — (более 1,5 мм) пробой газа поглощает большую часть энергии, и динамическая фаза может не возникнуть. Образование глухих и сквозных отверстий происходит по примерно одинаковой схеме — входная конусная часть отверстия возникает вследствие оплавления стенок истекающим металлом. Бочкообразная форма отверстия соответствует положению фокуса под обрабатываемой поверхностью. Действию плазмы соответствует широкий угол конуса на входной поверхности. При образовании сквозных отверстий возникает выходной конус (на рис. 4.16 не показан).

При РОСЛ доминирующее значение имеют погрешности, связанные с неточностью изготовления элементов оптической системы, их износ и неточность наводки. Суммирование всех перечисленных факторов приводит к получению поля рассеивания диаметральных

размеров по 7—8-му квалитетам. Суммарное поле рассеивания линейных размеров при обработке ОКГ соответствует 7—12-му квалитетам. Точность взаимного положения отверстий, оцениваемая в полярных координатах, соответствует  $\pm 1'$ .

**Макро- и микрогеометрия поверхности, обработанной лучом ОКГ.** Состояние поверхности обработки определяется материалом, энергетическими параметрами импульса и положением фокуса. Чем выше энергия импульса и меньше время его действия, тем чище поверхность обработки. Характерные *особенности* макрогеометрии поверхности — это волнистость, наплывы, впадины. Микрогеометрия зависит от вида материала. Для нержавеющей стали характерна гладкая с цветами побежалости поверхность с шероховатостью  $Ra\ 0,16 \dots 0,08$  мкм. Латунь Л62 дает гладкую поверхность с  $Ra\ 0,32 \dots 0,16$  мкм, а алюминий — оплавленную матовую поверхность с  $Ra\ 0,63 \dots 0,32$  мкм.

Керамику покрывают слоем стекловидного оплавленного материала с  $Ra\ 0,08 \dots 0,04$  мкм. Однако этот слой непрочен и, скалываясь, обнажает поверхность шероховатостью  $Ra\ 0,63 \dots 0,32$  мкм.

Вход и выход отверстий имеют шероховатость хуже в 2—4 раза.

Повышение качества поверхности и точности обработки ОКГ может быть достигнуто как уменьшением составляющих суммарной погрешности и совершенствованием процессов управления параметрами импульса, так и дополнительными операциями, например калибровкой отверстия струей сжатого воздуха или световым лучом. При этом шероховатость поверхности может быть снижена в 2—4 раза и уничтожаются такие погрешности, как выходной конус и ошибки поперечной формы отверстия.

Лазерную обработку применяют для прошивания сквозных и глухих отверстий, разрезки заготовок на части, вырезания заготовок из листовых материалов, прорезания пазов. Этим методом можно обрабатывать заготовки из любых материалов, включая самые твердые и прочные. Например, лазерную обработку отверстий применяют при изготовлении диафрагм для электронно-лучевых установок. Диафрагмы изготавливают из вольфрамовой, танталовой, молибденовой или медной фольги толщиной приблизительно 50 мкм при диаметре отверстия 20...30 мкм. С помощью лазерного луча можно выполнить контурную обработку по аналогии с фрезерованием, т. е. обработку поверхностей по сложному периметру. Перемещения заготовки относительно луча управляет система ЧПУ, что позволяет прорезать в заготовках сложные криволинейные пазы или вырезать из заготовок детали сложной геометрической формы.

Плазменная струя, применяемая для технологических целей, представляет собой направленный поток частично или полностью ионизированного газа, имеющего температуру 10 000... 20 000 °С.

Плазменная струя выделяется из токоведущего столба дуги в дуговых плазменных головках (рис. 4.17). Дуговой разряд возбуждается в канале 2 между электродом 1 из вольфрама и соплом 5. Канал 2 электрически изолирован от сопла и электрода. Вдоль дуги по каналу пропускают газ (аргон, гелий, азот, водород, метан и др.). Этот газ обжимает столб дуги 4, что повышает плотность его энергии и температуру. Мощность столба повышается, газ при соударении с электронами ионизируется и выходит из сопла в виде ярко светящейся плазменной струи 6.

Применяют два основных плазменных источника нагрева: плазменную струю, выделенную из столба косвенной дуги, и плазменную дугу, в которой дуга прямого действия совмещена с плазменной струей.

Различают дуговые плазменные головки с отдельными (рис. 4.17, а) и совмещенными (рис. 4.17, б) соплом и каналом. Плазменная струя может быть выделена из столба или совпадать с ним (рис. 4.17, в). Струя, совпадающая с токоведущим столбом, используется для обработки электропроводных материалов. Плазменная струя,

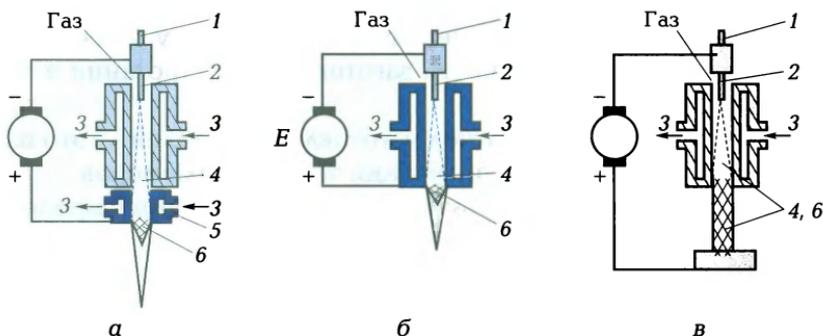


Рис. 4.17. Схемы дуговых плазменных головок:

а — с отдельным соплом и каналом со струей, выделенной из столба дуги; б — с совмещенным соплом и каналом со струей, выделенной из столба дуги; в — с совмещенными соплом и каналом со струей, совпадающей со столбом дуги: 1 — электрод; 2 — канал; 3 — охлаждающая вода; 4 — столб дуги; 5 — сопло; 6 — плазменная струя; E — источник тока

выделенная из токоведущего столба дуги, используется как независимый источник теплоты. Основная характеристика плазменной струи в качестве источника теплоты — это эффективная тепловая мощность, Дж/с:

$$q = \eta_u UI,$$

где  $\eta_u$  — эффективный КПД плазменного нагрева заготовки;  $U$  — напряжение дуги, В;  $I$  — ток дуги, А.

Эффективная тепловая мощность плазменной струи может регулироваться изменением тока и напряжения дуги, расхода и состава газа, диаметра канала и сопла, расстоянием между соплом и нагреваемым изделием. При среднем расходе газа для плазменной струи, выделенной из столба дуги,  $\eta_u = 30 \dots 50 \%$ .

Плазменной струей можно проводить размерную обработку различных материалов: металлов, полупроводников и диэлектриков. Плазменной струей проводят также резку материалов, особенно тех, резка которых другими способами затруднена, например меди, алюминия и др.

Процесс резки осуществляют путем расплавления и выдувания расплавленного материала потоком газа, имеющего скорость 300... 1 000 м/с, и частичного испарения. Плазменной струей можно разрезать цветные металлы и сплавы, высоколегированные стали, тугоплавкие металлы, керамику и прочее (практически все материалы).

Плазменным методом обрабатывают заготовки из любых материалов, выполняя прошивание отверстий, вырезку заготовок из листового материала, строгание, точение. При прошивании отверстий, разрезке и вырезке заготовок головку устанавливают перпендикулярно к поверхности заготовки, при строгании и точении — под углом 40...60°.

Принципиально новый метод изготовления деталей — это плазменное напыление в целях получения заданных размеров.

Плазменное напыление применяют и для получения деталей из напыляемого материала.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

---

1. Перечислите, какие методы обработки относятся к электрофизическим, а какие к электрохимическим.
2. Какие работы можно выполнять электроконтактной, анодно-механической, электроабразивной и электроалмазной обработкой?

3. В чем суть этих методов, что в них общего и чем они различаются?
4. Вспомните, в чем суть электрохимической обработки, какие ее возможности, какие электролиты применяют при обработке различных металлов.
5. Какие особенности метода электроэрозионной обработки металлов (ЭЭО), какие возможности у этого метода, какие импульсы используются при ЭЭО?
6. В чем суть электроискровой обработки, электроимпульсной обработки, высокочастотной ЭЭО? Что общего и каковы различия этих методов?
7. Какие работы можно выполнять методами ультразвуковой размерной обработки, какие материалы можно обрабатывать этими методами?
8. В чем суть размерной обработки световым лучом? Перечислите работы, которые можно выполнять этим методом.
9. Какие тепловые процессы имеют место при различных положениях фокуса луча ОКГ относительно обрабатываемой поверхности?
10. Что является инструментом при плазменной обработке и какие работы можно выполнять этим инструментом?

# СВАРКА, ПАЙКА И СКЛЕИВАНИЕ

## 5.1. СУЩНОСТЬ ПРОЦЕССА И СПОСОБЫ СВАРКИ

---

В разработке метода получения неразъемных соединений материалов путем их сварки ведущая роль принадлежит отечественным инженерам и ученым.

Электрическая сварка металлов является русским изобретением. Русский ученый акад. Василий Владимирович Петров в 1802 г. открыл явление электрической дуги и установил возможность плавления металлов в дуге. В 1882 г. русским инженером Николаем Николаевичем Бенардосом (1842 – 1905) был предложен способ электродуговой сварки металлов угольным электродом, а в 1888 г. русским инженером Николаем Гавриловичем Славяновым (1854 – 1897) разработан способ электродуговой сварки металлическим электродом. Н. Н. Бенардосу и Н. Г. Славянову принадлежит изобретение не только способов сварки, но и первых в мире сварочных автоматов, сварочных машин и различных приспособлений для сварки.

В настоящее время существует более 60 методов сварки. В их разработке и внедрении принимали участие А. И. Акулов, Н. П. Алешин, В. И. Лоцилов, Г. А. Николаев, Н. А. Ольшанский, Н. Н. Прохоров и др.

*Сварка* — процесс получения неразъемного соединения за счет расплавления и совместной кристаллизации двух свариваемых материалов или без расплавления в результате электронного взаимодействия в зоне контакта свариваемых материалов. Этот процесс применяют в машиностроении вместо литья, штамповки или обработки резанием для изготовления отдельных машинных узлов, служащих заготовками, и для окончательной сборки машин. Сварку осуществляют двумя способами: плавлением без внешнего меха-

нического воздействия и с приложением давления к соединяемым заготовкам. Сварку с приложением давления можно осуществлять без нагрева места соединения (холодная сварка) и с местным нагревом до пластического состояния или до оплавления (контактная, трением, диффузионная).

В зависимости от источника теплоты, применяемого для нагрева металла, сварку с приложением давления подразделяют:

- на контактную;
- индукционную;
- газопрессовую;
- печную, или горновую;
- сварку трением, разновидностью которой является ультразвуковая сварка.

При сварке плавлением расплавленный металл свариваемых (соединяемых) заготовок образует общую сварочную ванну. В процессе охлаждения происходят затвердевание и общая кристаллизация сварочной ванны, металл шва приобретает литую структуру. Для расплавления металла используют источники, имеющие температуру 2000 °С и выше. В зависимости от характера источников теплоты различают электрическую, химическую и литейную сварку плавлением.

В настоящей главе рассматривается технология изготовления типовых заготовок машин различными способами сварки. Применение сварки в сборочных процессах специально не рассматривается.

## **5.2. ТРЕБОВАНИЯ, УЧИТЫВАЕМЫЕ ПРИ ВЫБОРЕ СПОСОБА СВАРКИ**

При выборе способа сварки необходимо учитывать чувствительность свариваемых материалов к тепловому воздействию. Сварка в машиностроении должна отвечать ряду требований.

Сварные соединения должны обладать точным взаиморасположением, а в ряде случаев должны быть герметичными, стойкими против коррозионного разрушения, обладать прочностью, хорошо сопротивляться воздействию ударных, вибрационных нагрузок, резкой смене температур.

Для машиностроения характерно многообразие соединяемых материалов как по их природе, так и по размерам элементов.

При выборе способа сварки необходимо учитывать следующее:

- при необходимости создания точного взаиморасположения свариваемых заготовок не следует допускать общего нагрева или слишком широких зон разогрева, ведущих к появлению термических напряжений и деформаций. Это значит, что зона, прилегающая к свариваемым кромкам, в которой возможны структурные превращения, вызываемые нагревом, должна быть минимальной;
- способ сварки и используемое оборудование должны обеспечивать точную дозировку тепловой энергии и регулирование параметров режима, а источник теплоты, применяемый для нагрева и расплавления, должен быть концентрированным;
- при сварке химически активных металлов (титана, молибдена и др.), легких сплавов на основе алюминия и магния, сплавов на основе меди и никеля должна быть обеспечена защита свариваемых заготовок от взаимодействия с воздухом с тем, чтобы исключить охрупчивание сварного соединения.

### 5.3. КЛАССИФИКАЦИЯ СПОСОБОВ ДУГОВОЙ СВАРКИ

При дуговой сварке источником нагрева служит электрическая дуга, представляющая собой стационарный разряд в газах. Сварочная дуга характеризуется высокой температурой и большим током в зоне разряда. При дуговой сварке разряд возникает между свариваемым (основным) металлом и специальным стержнем (электродом) или между двумя электродами.

Когда дуга 2 (рис. 5.1, а, б) горит между металлом (анодом) 3 и электродом (катодом) 1, для нагрева и плавления основного металла 3 и электрода используется теплота, выделяемая в столбе дуги, а также на катодном и анодном пятнах. Этот способ называют сваркой дугой прямого действия или зависимой дугой. Такую сварку проводят как без *присадочного металла*, так и с присадочным металлом 4, вводимым в дугу или укладываемым в разделку между кромками.

Когда дуга горит между двумя электродами 1 (рис. 5.1, в, г), для расплавления основного металла используют теплоту, выделяемую в столбе дуги 5, соприкасающемся с поверхностью свариваемого изделия. Этот способ называют сваркой косвенной, или независимой, дугой и применяют относительно редко.

В зависимости от рода тока, характера воздействия дуги на металл, материала электрода, способа и вида защиты дуги и зоны

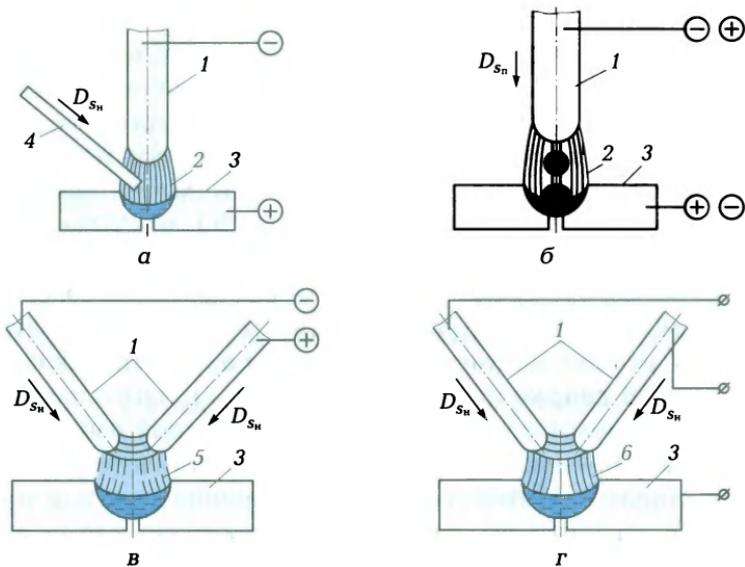


Рис. 5.1. Схемы дуговой сварки:

*а, б* — дугой прямого действия соответственно неплавящимся и плавящимся электродами; *в, г* — дугой косвенного действия соответственно постоянным или трехфазным током: 1 — электрод; 2 — дуга прямого действия; 3 — основной металл; 4 — присадочный металл; 5 — дуга косвенного действия при постоянном токе; 6 — дуга при трехфазном токе;  $D_{Sn}$  и  $D_{Sн}$  — движения подачи

соединения от воздуха, степени механизации процесса дуговая сварка имеет несколько разновидностей.

При использовании **дуги прямого действия** различают сварку **неплавящимся** (угольным, графитовым или вольфрамовым) электродом (см. рис. 5.1, *а*) и **плавящимся** металлическим электродом (см. рис. 5.1, *б*) с составом, близким составу свариваемого металла.

При сварке **неплавящимся электродом** шов образуется за счет плавления только основного или основного и присадочного металлов. Сварку неплавящимся, вольфрамовым электродом проводят в защитных инертных газах (аргон, гелий), предохраняющих электрод от окисления, для питания дуги применяют постоянный и реже переменный ток. Сварку угольным электродом проводят только при постоянном токе.

При сварке **плавящимся электродом** шов образуется за счет расплавления основного металла и металла плавящегося электрода. В качестве электродов применяют сварочные проволоки, ленты или свернутую в трубку ленту, внутри которой находится минеральный наполнитель (для защиты и легирования металла шва).

Дуга питается от источника постоянного тока или от источника переменного тока обычной, повышенной и высокой частоты. Сварку постоянным током можно проводить при прямой и обратной полярности. При прямой полярности электрод соединяется с отрицательным полюсом (катодом) источника постоянного тока, а основной металл (см. рис. 5.1, а) — с положительным (анодом), при обратной полярности — наоборот (см. рис. 5.1, б). Дуговая сварка осуществляется и трехфазной дугой б (см. рис. 5.1, г), при которой дуга горит между электродами 1, а также между каждым электродом и основным металлом 3. Дуговая сварка плавящимся электродом может быть ручной, полуавтоматической и автоматической.

При **ручной сварке** используют электроды, изготовленные из сварочной проволоки диаметром 2...8 мм, длиной 450 мм, на поверхность которой нанесены различные покрытия: тонкое, назначением которого является стабилизация горения дуги, или толстое, служащее для защиты и легирования металла сварного шва и стабилизации горения дуги.

При дуговой сварке электродами со стабилизирующим тонким покрытием возможно взаимодействие находящегося в расплавленном состоянии металла сварочной ванны с кислородом и азотом воздуха, что приводит к изменению химического состава и ухудшению механических свойств и коррозионной стойкости швов. Поэтому тонкое покрытие электродов применяют только при производстве неотчетственных сварных конструкций. Ручная сварка качественными электродами с толстым покрытием получила наибольшее распространение. В состав покрытия обычно входят ионизирующие вещества, например соли кальция, натрия, калия, газообразующие органические вещества (крахмал, целлюлоза и т.д.), раскислители (ферросплавы, порошок алюминия) и легирующие элементы (хром, молибден, титан и т.д.).

Покрытия качественных электродов можно разделить на две группы: покрытия, образующие (при переплавлении) либо кислые, либо основные шлаки. Покрытия, образующие кислые шлаки, применяют для сварки деталей из углеродистых и низколегированных сталей, а покрытия, образующие основные шлаки, — для сварки деталей из легированных сталей и цветных металлов.

Ручную дуговую сварку применяют для соединения металлов толщиной от 1 мм и более в любых пространственных положениях (рис. 5.2) любой протяженности и при любой конфигурации швов. Ручной дуговой сваркой сваривают стали, серые чугуны, алюминиевые и медные сплавы и некоторые титановые сплавы с применением специальных покрытий.

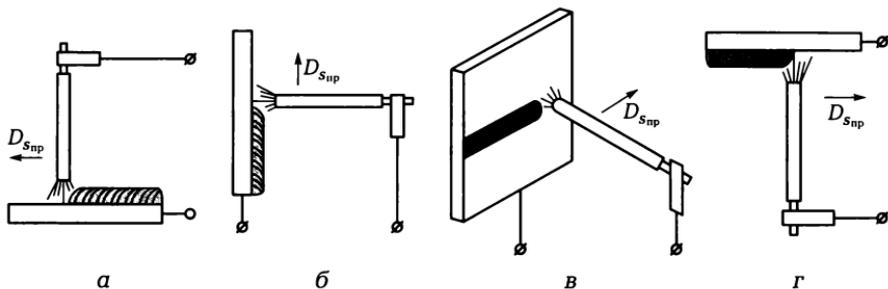


Рис. 5.2. Возможные пространственные положения шва при ручной дуговой сварке:

*а* — нижнее; *б* — вертикальное; *в* — горизонтальное; *г* — потолочное;  $D_{спр}$  — движение продольной подачи

При **полуавтоматической сварке** плавящимся электродом механизмируют операцию подачи сварочной проволоки (диаметром от 0,8 до 2 мм) в зону дуги. Для подачи проволоки используют подающий механизм, с помощью которого проволоку из кассеты подают к сварочной головке (держателю, пистолету). Манипуляция дугой для поддержания заданного режима, придания шву нужной формы и перемещения дуги по шву осуществляется вручную.

При полуавтоматической сварке металл шва защищают от доступа воздуха слоем **флюса** или струей газа. При флюсовой защите флюс подается из специального бункера, помещенного на держателе, при газовой защите на мундштук надевают специальное медное или керамическое сопло с кольцевым отверстием; через это сопло газ подают к месту сварки от баллона с редуктором и газового счетчика. Полуавтоматическая сварка обладает большей производительностью, чем ручная, она применяется главным образом для сварки коротких и криволинейных швов на горизонтальных и наклонных плоскостях. Сваривать можно почти все стали, а также медные и алюминиевые сплавы толщиной от 0,5 до 12 мм.

При **автоматической сварке** возбуждение дуги, поддержание дугового разряда и перемещение дуги в направлении шва осуществляют автоматически. Автомат состоит из сварочной головки, тележки, механизмов перемещения тележки и подачи проволоки, размещенных на тележке, и кассеты с проволокой.

К проволоке подводят ток через токоподводящий мундштук в непосредственной близости от дуги, благодаря чему можно значительно увеличить плотность тока без опасения перегрева проволоки. При применении больших плотностей тока значительно увеличи-

вается скорость расплавления электродной проволоки и глубина проплавления свариваемого металла, а вместе с тем повышается и производительность процесса. Качество шва при автоматической сварке выше, чем при ручной и полуавтоматической, процесс более экономичен. Это объясняется более надежной защитой сварочной ванны, возможностью точно регулировать количество расплавляемого металла уменьшением теплового воздействия на свариваемый металл за счет сварки на больших скоростях, экономией электроэнергии и уменьшением расхода электродной проволоки благодаря отсутствию отходов в виде огарков. Автоматическую сварку можно проводить неплавящимся вольфрамовым или угольным электродом и плавящимся электродом.

Автоматическая сварка неплавящимся угольным электродом имеет ограниченное применение. Вольфрамовые электроды применяют главным образом для автоматической сварки в защитных газах металлов малых толщин.

Зону сварки защищают струей газа, истекающего из сопла горелки. В других случаях свариваемые изделия помещают в герметичные камеры, заполненные защитным газом, в которых находятся также приспособления для прямолинейного перемещения или вращения заготовок, а также сварочные головки с защитными устройствами для вольфрамовых электродов и токоподводами. Управление процессом при сварке в камерах дистанционное.

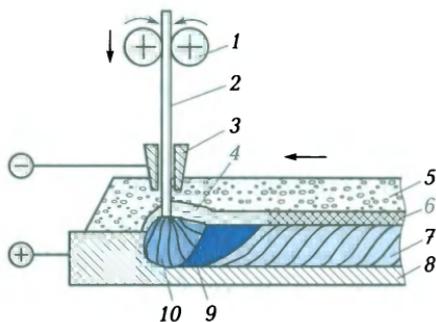
Автоматическая сварка плавящимся электродом проводится сварочной проволокой диаметром от 1 до 6 мм, намотанной в кассету и подаваемой из нее в сварочную головку.

Зону дуги защищают от взаимодействия с окружающим воздухом, как и при полуавтоматической сварке, слоем флюса или струей газа.

Схема процесса автоматической дуговой сварки под флюсом показана на рис. 5.3. Дуга 10 горит между электродной проволокой 2 и основным металлом 8. Столб дуги 10 и металлическая ванна жидкого металла 9 со всех сторон плотно закрыты слоем флюса 5 толщиной 30...50 мм. Часть флюса, окружающего дугу, расплавляется, образуя на поверхности расплавленного металла ванну жидкого шлака 4. Для сварки под флюсом характерно глубокое проплавление основного металла. Действие мощной дуги и быстрое движение электрода вдоль заготовки обуславливают оттеснение расплавленного металла в сторону, противоположную направлению сварки. По мере поступательного движения электрода происходит затвердевание металлической и шлаковой ванн с образованием сварного шва 7, покрытого твердой шлаковой коркой 6.

Рис. 5.3. Схема автоматической дуговой сварки под флюсом:

1 — механизм подачи; 2 — электродная проволока; 3 — токоподвод; 4 — жидкий шлак; 5 — флюс; 6 — шлаковая корка; 7 — сварной шов; 8 — основной металл; 9 — жидкий металл; 10 — дуга



Электродную проволоку подают в дугу и перемещают ее вдоль шва механизированным способом с помощью механизмов подачи 1 и перемещения (последние на рис. 5.3 не показаны). Ток к электроду поступает через токоподвод 3.

Основные *преимущества* автоматической сварки под флюсом по сравнению с ручной дуговой сваркой состоят в повышении до 15–20 раз производительности процесса сварки, улучшении качества сварных соединений и уменьшении себестоимости 1 м сварного шва.

Автоматическую сварку применяют в основном для выполнения швов большой протяженности.

## 5.4. ДУГОВАЯ СВАРКА В ЗАЩИТНЫХ ГАЗАХ

При сварке в атмосфере защитных газов или газозащитной сварке (рис. 5.4) электрод 3, зону дуги 4 и сварочную ванну 6 защищают струей защитного газа 5. Газ подают с помощью сварочной горелки через сопло 2 (из керамики или меди), в центре которого

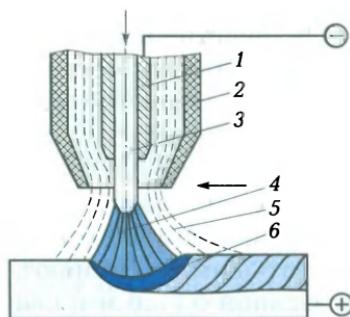


Рис. 5.4. Схема сварки в атмосфере защитных газов:

1 — токоподвод; 2 — сопло; 3 — электрод; 4 — дуга; 5 — защитный газ; 6 — сварочная ванна

помещают электрод. Медное сопло охлаждают водой, оно изолировано от других частей горелки и токоподвода 1.

Защитные газы, как правило, обладают хорошей ионизирующей способностью, поэтому обеспечивают стабильное горение дуги, в том числе и при малых сварочных токах.

В качестве защитных газов применяют инертные газы (аргон и гелий) и активные газы (углекислый газ, азот, водород и др.), иногда — смеси двух газов или более. У нас в стране наиболее распространен аргон (Ar) и углекислый газ (CO<sub>2</sub>).

Эти способы сварки можно использовать для соединения практически всех металлов. Возможность проводить сварку плавящимся и неплавящимся электродом определяет и широкий диапазон толщин свариваемого материала.

К достоинствам дуговой сварки в защитных газах относятся высокая производительность процесса, широкие возможности автоматизации, надежность защиты сварочной ванны и отсутствие необходимости во флюсах и покрытиях, высокая степень концентрации теплоты сварочной дуги и возможность наблюдать за открытой дугой, что облегчает управление процессом. Защитный газ выбирают исходя из состава и чувствительности свариваемых металлов к примесям, содержащимся в газе.

В чистом аргоне и гелии содержится обычно небольшое количество кислорода, азота и влаги, которые ухудшают качество шва. Поэтому при сварке особенно ответственных изделий и изделий из химически активных металлов содержание примесей в защитном газе не должно превышать 0,02 %.

Для других сплавов (например, на основе алюминия, магния и некоторых сталей) требования к чистоте защитного газа снижены. При сварке меди и ее сплавов объемная доля кислорода в защитном газе не должна превышать 0,015... 0,02 %. Возможна сварка в гелии, азоте и с комбинированной защитой аргоном и азотом.

Углекислый газ в смеси его с аргоном применяют только для сварки сталей.

В качестве неплавящихся электродов при сварке применяют прутки диаметром от 0,5 до 3,0 мм из чистого вольфрама или из вольфрама (с массовой долей оксида тория 1,5... 2,0 %). Введение тория повышает эмиссионную способность электрода, повышает устойчивость дуги и уменьшает расход вольфрама.

**Аргонодуговой сваркой** можно сваривать по двум схемам: неплавящимся и плавящимся электродами. Сварку неплавящимся электродом применяют, как правило, при соединении металла толщиной 0,1...6 мм; плавящимся электродом — от 2 мм и более.

Разграничение по толщинам условное. Нередко, когда производительность — не главный показатель сварочного процесса, металл значительной толщины также сваривают неплавящимся электродом многослойным швом.

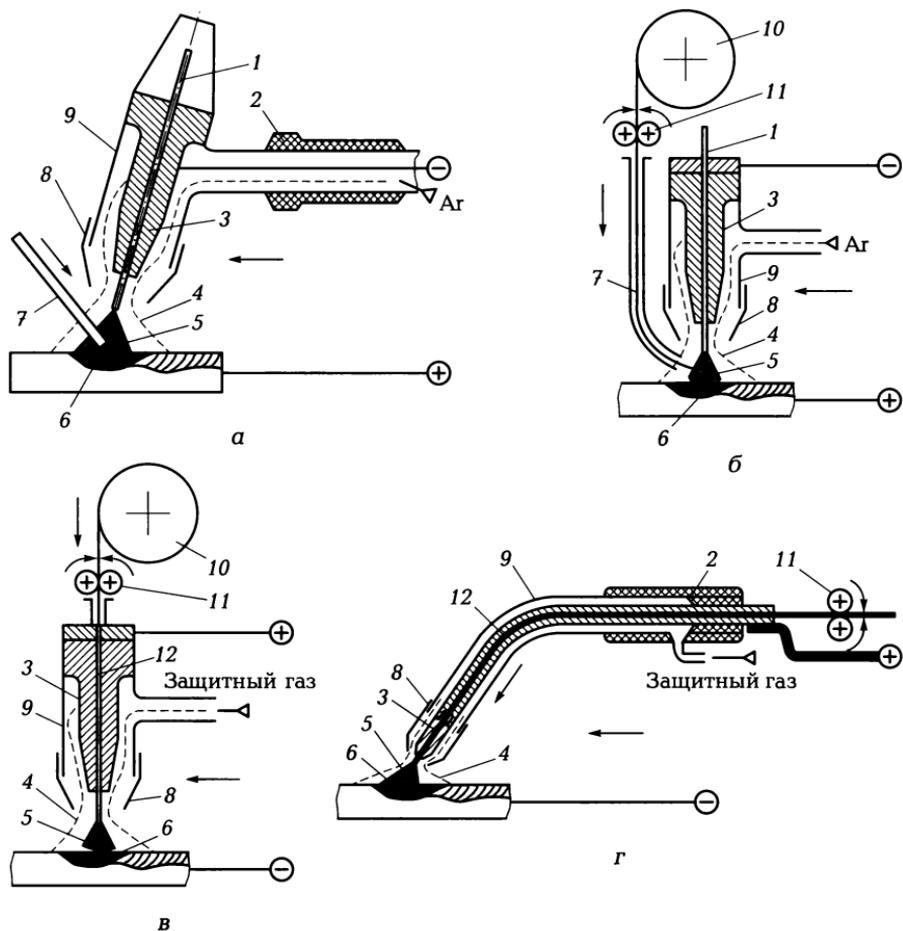


Рис. 5.5. Разновидности аргодуговой сварки:

*а, б* — аргодуговая сварка неплавящимся электродом соответственно с ручной и механической подачей присадочного материала; *в, г* — аргодуговая сварка плавящимся электродом, механически подаваемым в зону сварки соответственно вертикально и под наклоном: 1 — неплавящийся вольфрамовый электрод; 2 — рукоятка горелки; 3 — токоподводящий мундштук; 4 — атмосфера защитного газа; 5 — сварочная дуга; 6 — ванна расплавленного металла (сварочная ванна); 7 — присадочный пруток или проволока; 8 — сопло; 9 — корпус горелки; 10 — кассета с проволокой; 11 — механизм подачи; 12 — плавящийся металлический электрод (сварочная проволока)

В атмосфере аргона *неплавящимся вольфрамовым электродом* можно сваривать с расплавлением либо только основного металла (толщиной до 3 мм), либо и присадочного материала (прутка или проволоки), например, при необходимости усиления шва или заполнения разделки кромок (толщина более 3 мм). Присадочный материал вручную (рис. 5.5, а) или механизмом подачи (рис. 5.5, б) подают со стороны в дугу.

Сварку неплавящимся электродом конструкционных сталей, нержавеющей хромоникелевых сталей и жаропрочных хромоникелевых сплавов проводят обычно постоянным током прямой полярности и реже — переменным. Для алюминиевых и магниевых сплавов рекомендуется использовать переменный ток или постоянный ток обратной полярности. Для сварки меди и медных сплавов применяют только постоянный ток прямой полярности.

При сварке стыковых соединений малой толщины следует обращать внимание на точность сборки и подгонки свариваемых кромок.

Для того чтобы избежать смещения кромок в процессе сварки, применяют прижимные приспособления, разжимные кольца или хомуты и др. При сварке заготовок сложной формы защитным газом заполняют внутреннюю полость заготовки или проводят (вручную или автоматически) сварку в камерах, заполненных аргоном или гелием.

При сварке неплавящимся электродом необходимо тщательно зачищать свариваемые кромки от окалины, жиров и прочих загрязнений. Зачистку осуществляют механически или травлением.

Сварку *плавящимся электродом* (рис. 5.5, в, г) в защитных газах проводят с помощью шланговых полуавтоматов или автоматов с механизированной подачей расплавляемой сварочной проволоки. Этот способ применяют главным образом для соединения металлических заготовок толщиной более 3 мм. Плавящимся электродом в аргоне можно сваривать практически все стали и цветные металлы.

Для питания дуги применяют постоянный ток обратной полярности. Характер переноса металла через дуговой промежуток от электрода в сварочную ванну зависит от состава металла, защитного газа, величины и направления тока. При некотором критическом значении тока капельный перенос перерастает в струйный (рис. 5.6, а, б). При этом увеличиваются давление дуги на сварочную ванну и глубина проплавления основного металла. При струйном переносе металла дуга более стабильна, кроме того, улучшаются формирование и качество сварного шва.

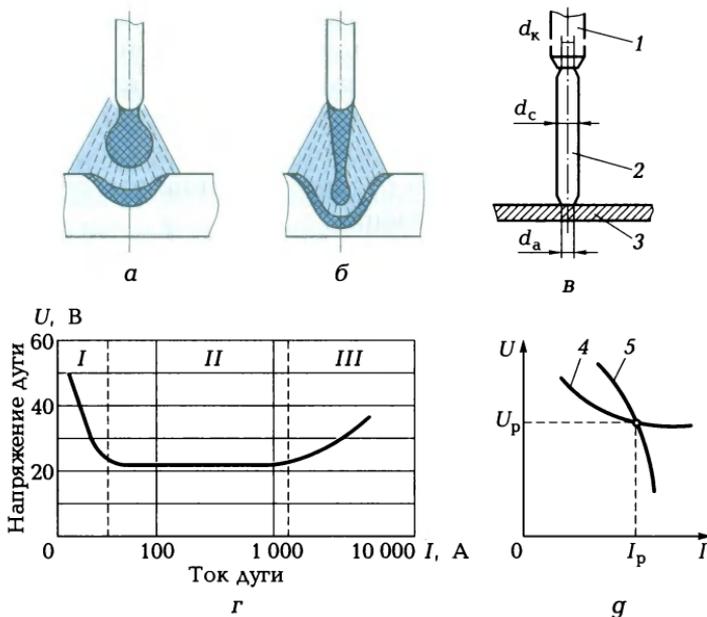


Рис. 5.6. Капельный (а) и струйный (б) перенос металла через дуговой промежуток, схема электрической дуги (в), статическая характеристика дуги (г), рабочий режим при напряжении питания  $U_p$  и токе  $I_p$  (д):

1 — электрод; 2 — дуга; 3 — заготовка; 4 — участок статической характеристики дуги; 5 — участок внешней характеристики источника питания;  $d_k$ ,  $d_c$ ,  $d_a$  — диаметры соответственно катода, столба дуги и анодного пятна;  $U_p$  и  $I_p$  — рабочие значения напряжения и тока; I, II и III — области малых, средних и больших плотностей тока соответственно

При сварке плавящимся электродом в защитных газах для сохранения постоянства длины дуги используют явление саморегулирования дуги за счет изменения скорости плавления электродной проволоки, которая подается с постоянной скоростью. Дуга наиболее стабильна при питании ее от источников тока с жесткой и возрастающей характеристикой (подробнее см. подразд. 5.5).

**Сварку в атмосфере углекислого газа** выполняют только плавящимся электродом. Ее используют для соединения углеродистых и низколегированных сталей. В связи с тем что углекислый газ обладает окислительным действием, в сварочную проволоку вводят раскислители (кремний и марганец). Этим способом, применяя проволоку диаметром 0,5... 1,2 мм, можно выполнять на автоматах стыковые соединения металла толщиной от 0,8 до 3,0 мм, кольцевые швы, тавровые и угловые соединения. Принципиально технология сварки в углекислом газе не отличается от таковой при сварке в аргоне.

**Сварка в атмосфере защитных газов** (в зависимости от степени механизации процессов подачи присадочной или сварочной проволоки и перемещения сварочной горелки) может быть ручной, полуавтоматической и автоматической. При этом особенности схемы процессов и области их преимущественного применения предопределили наибольшее распространение различных видов сварки по степени их механизации.

Применяют все разновидности аргонодуговой сварки, но наиболее распространены ручная (см. рис. 5.5, а) и механическая (см. рис. 5.5, б) неплавящимся электродом, а также полуавтоматическая плавящимся электродом (см. рис. 5.5, г). Сварку в углекислом газе применяют главным образом в виде полуавтоматической.

## 5.5. ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ДЛЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ

Электрическая дуга (рис. 5.6, в) состоит из катодной области, столба дуги и анодной области. На поверхности торцов отрицательного и положительного электродов (катода и анода) имеются активные катодное  $d_k$  и анодное  $d_a$  пятна, через которые проходит весь ток дуги. Столб дуги  $d_c$  можно рассматривать как газовую плазму, находящуюся в термодинамическом равновесии. Это означает, что средние кинетические энергии частиц, из которых состоит атмосфера дуги (атомы, ионы, электроны), равны между собой.

Электрические характеристики дуги определяют требования к сварочному оборудованию, в частности, к источникам питания. В установившемся (статическом) состоянии, когда в системе источник питания — дуга напряжение и ток длительное время не изменяют своей величины, зависимость между этими параметрами выражается статической вольт-амперной характеристикой дуги или внешней характеристикой источника питания.

На рис. 5.6, г показана статическая характеристика 4 дуги при изменении сварочного тока в широком диапазоне.

При относительно малых плотностях тока (область I) напряжение дуги уменьшается с увеличением тока и статическая характеристика имеет падающий характер (*падающая характеристика*).

С увеличением плотности тока (область II) электропроводность столба дуги изменяется незначительно, а сечение его увеличивается пропорционально току (*жесткая характеристика*). Эта область соответствует большинству применяемых режимов сварки.

При больших плотностях тока (область III), падение напряжения в столбе дуги и градиент потенциала растут с увеличением тока (*возрастающая характеристика*). Эта область соответствует сварке закрытыми (под флюсом) и защищенными (в газах) дугами при повышенных плотностях тока. Под внешней характеристикой источника питания понимают зависимость между током в сварочной цепи и напряжением источника. Условие устойчивого горения сварочной дуги — это соответствие внешней характеристики источника питания статической характеристике дуги.

На рис. 5.6, *g* показаны внешняя характеристика 5 источника питания и статическая характеристика 4 дуги. Точка их пересечения с абсциссой  $I_p$  и ординатой  $U_p$  соответствует установившемуся режиму работы. При режиме, соответствующем точке пересечения вольт-амперных характеристик дуги и источника питания, длина дуги автоматически поддерживается постоянной в том случае, если скорость подачи электродной проволоки равна скорости ее плавления. Свойство сохранения постоянства длины дуги за счет изменения скорости плавления электродной проволоки в зависимости от изменения тока называется свойством *саморегулирования дуги*. При сварке токами относительно малой плотности интенсивность саморегулирования снижается. В этом случае применяют автоматическое регулирование напряжения дуги, изменяя скорость подачи электродной проволоки.

В зависимости от рода тока различают источники питания постоянного (генераторы, преобразователи и выпрямители) и переменного (трансформаторы) тока, а в зависимости от количества питаемых постов их разделяют на многопостовые и однопостовые.

## 5.6. СВАРКА ЛУЧЕВЫМИ МЕТОДАМИ

Рассмотрим технологию *сварки электронным лучом*. При интенсивной бомбардировке металла или какого-либо другого материала электронами в высоком вакууме около 99 % их кинетической энергии переходит в тепловую, расходуемую на нагрев. Температура в месте бомбардировки достигает 5 000...6 000 °С, что достаточно для плавления металла при сварке. Схема генератора электронного луча (электронной пушки) показана на рис. 4.14, рядом описан принцип его действия. В современных установках для сварки и термической обработки электронный луч фокусируется на площади диаметром менее 0,1 мм. С помощью отклоняющих катушек луч можно перемещать по поверхности заготовки, помещенной в вакуумную камеру.

Оптическая система, состоящая из зеркала, объектива с осевым отверстием и микроскопа, позволяет вести наблюдение за процессом сварки при многократном увеличении. Заготовку устанавливают на столе, который перемещается с равномерной скоростью. Различают два типа электронно-лучевых пушек: *низковольтные* с ускоряющим напряжением 10... 30 кВ и *высоковольтные* — до 150 кВ.

Для сварки электронным лучом характерна очень высокая концентрация энергии в пятне нагрева, достигающая  $10^9$  кВт/м<sup>2</sup> (при дуговой сварке вольфрамовым электродом в защитных газах удельная мощность в пятне нагрева не превышает  $10^5$  кВт/м<sup>2</sup>). Еще одно положительное свойство электронного луча — это возможность глубокого проплавления металла благодаря тому, что электронный луч высокой интенсивности может проникать в металл на глубину в несколько миллиметров. При этом образуется узкий канал с достаточно высокой проницаемостью для электронов, заполненный металлическими парами. Давлением паров жидкий металл оттесняется к стенкам канала, а при выключении или перемещении луча стекает в него, образуя после кристаллизации шов. Зона расплавления имеет форму вытянутого клина, а отношение глубины проплавления к ширине может достигать 20:1. Этот эффект называют кинжальным проплавлением.

Достоинство электронно-лучевой сварки и обработки заключается также в отсутствии загрязнений, попадающих обычно в шов из окружающей атмосферы. При остаточном давлении в камере 0,067 Па чистота среды вокруг свариваемых заготовок равна 99,999987 %.

Для ограничения размеров зоны проплавления и нагрева материала в зонах, прилегающих к месту сварки, а также при сварке легкоиспаряющихся металлов осуществляют подачу тока короткими мощными импульсами с частотой от 1 до 3000 Гц и продолжительностью от 10 до 0,005 мс.

Электронным лучом можно сваривать тугоплавкие металлы без существенного изменения свойств в литой структуре шва и рекристаллизованной зоне. Обеспечивается возможность сварки разнородных металлов со значительной разницей толщин, температур плавления и других теплофизических свойств. Например, при сварке алюминия и меди пятно луча на  $2/3$  располагается на медной заготовке и на  $1/3$  на алюминиевой. Соединение получается типа паяного, практически без расплавления меди. При сварке меди со сталью с небольшой нахлесткой необходимо сначала подогреть медную заготовку лучом, а затем проводить сварку.

При **сварке световым лучом** световой луч создается лазером. О лазерах было сказано в подразд. 4.7. Там же приведена схема твердотельного лазера на основе кристалла рубина (см. рис. 4.15) и описан принцип его действия.

В качестве твердотельных лазеров применяют и стеклянные стержни, активированные неодимом Nd (выходная энергия достигает 100... 120 Дж).

Эмитированное излучение имеет одинаковое направление, совпадает по фазе и длине волны, т. е. когерентно и монохроматично. Для газовых лазеров можно использовать, например, смесь гелия и неона, заключенную в стеклянную герметичную трубку, а возбуждение проводить электрическим полем.

Плотность энергии луча лазера примерно такая же, как и у электронного луча, но КПД твердых лазеров невелик и составляет примерно 2%. У полупроводниковых лазеров, представляющих собой диоды (например, система галлий — мышьяк), возбуждаемые постоянным током, КПД достигает 20... 50%. Продолжительность импульса равна тысячным и миллионным долям секунды. Мощность импульса достигает нескольких киловатт, а при работе в режиме непрерывного излучения не превышает нескольких милливатт, что объясняется сложностью охлаждения лазеров. Преимущество лазера перед электронным лучом заключается в том, что возможна обработка материалов в любой среде (вакууме, инертных газах, воздухе), проводящей свет. Преломляя луч с помощью зеркал или призм, можно направлять его в труднодоступные для обработки места заготовки.

Луч лазера нашел применение в сварке миниатюрных деталей: сепараторов подшипников, тонких проволочных сеток из высокопрочных сталей, для сварки тонких золотых проволок (0,05... 0,1 мм) с кремниевыми или покрытыми алюминием кремниевыми элементами, для приварки металлических выводов к металлическим пленкам, нанесенным на диэлектрики. Соединения такого типа используют в миниатюрных полупроводниковых приборах (электронных блоках, интегрирующих устройствах и др.).

## 5.7. ПЛАЗМЕННАЯ СВАРКА

Схемы дуговых плазменных головок приведены на рис. 4.17. Головки, предназначенные для сварки, имеют ряд особенностей. У сварочных дуговых плазменных головок (рис. 5.7) на их корпуса устанавливают второе концентрическое сопло 3, через которое подают защитный газ.

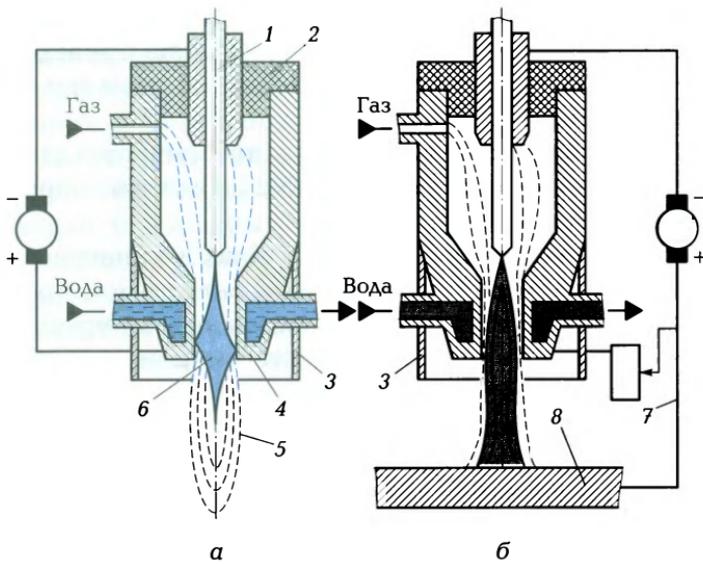


Рис. 5.7. Схемы сварочных дуговых плазменных головок:

*а* — со струей, выделенной из столба дуги; *б* — со струей, совпадающей со столбом дуги: 1 — вольфрамовый электрод; 2 — керамическая прокладка; 3 и 4 — сопла; 5 — струя; 6 — дуга; 7 — токоподвод; 8 — заготовка

У головок со струей, выделенной из столба дуги (рис. 5.7, *а*), у которой дуга горит между вольфрамовым электродом 1 и соплом 4, дугу зажигают с помощью осциллятора (источника высокочастотного переменного тока высокого напряжения). А у головок со струей, совпадающей со столбом дуги (рис. 5.7, *б*), у которых дуга горит между электродом и заготовкой 8, для облегчения зажигания дуги вначале возбуждают маломощную вспомогательную дугу между электродом и соплом. Для этого к соплу подключен токоподвод 7 от положительного полюса источника тока. Как только возникшая плазменная струя коснется заготовки, зажигается основная дуга, а вспомогательная выключается. Плазменная дуга, обладающая большей тепловой мощностью по сравнению с плазменной струей, имеет более широкое применение при обработке материалов. Ее используют для сварки высоколегированной стали, тугоплавких сплавов титана, никеля, молибдена, вольфрама и других материалов.

Большое значение имеет использование плазменной струи для целей *наплавки*. Плазменная струя — весьма прецизионный технологический инструмент, ею можно очень точно регулировать тепловое воздействие и соединять металлы при минимальном проплавлении.

Получила применение наплавка плазменной струей различных материалов, преимущественно карбидов вольфрама и других тугоплавких металлов, которые подают в струю в виде порошка мелких фракций. Плазменную струю можно использовать для получения тонких нитей высокой прочности. *Недостаток* плазменной сварки — недолговечность горелок вследствие частого выхода из строя сопел и электродов.

## 5.8. ГАЗОВАЯ СВАРКА И КИСЛОРОДНАЯ РЕЗКА

При *газовой сварке* в качестве источника теплоты используют газовое пламя, образующееся при сгорании какого-либо горючего газа, а также паров бензина, бензола и др., в атмосфере технически чистого кислорода. При этом (рис. 5.8, а) высокотемпературным пламенем 4 горелки 3 расплавляют кромки заготовок 1 и присадочный материал 2, применяемый в виде прутка или проволоки.

*Кислород*, используемый для сварочных работ, поставляют к месту потребления в стальных баллонах под давлением 15 МПа.

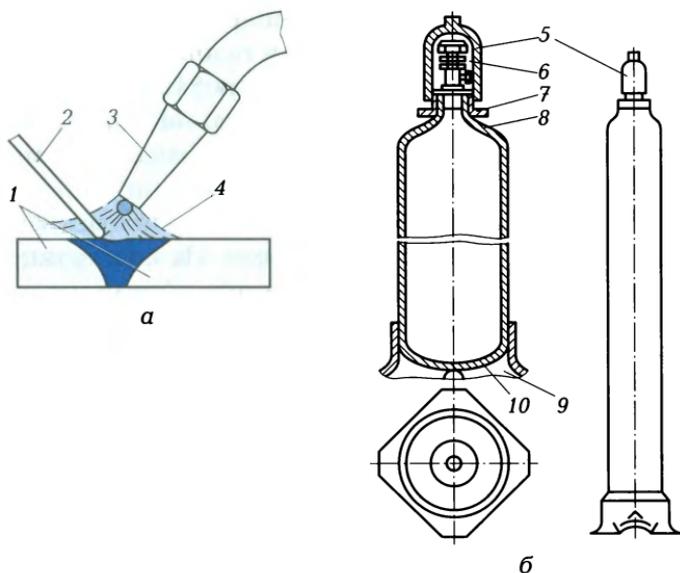


Рис. 5.8. Схемы процесса газовой сварки (а) и кислородного баллона (б):

1 — заготовки; 2 — присадочный материал; 3 — газовая горелка; 4 — газовое пламя; 5 — защитный колпак; 6 — запорный вентиль; 7 — кольцо; 8 — горловина; 9 — башмак; 10 — днище баллона

Кислородный баллон (рис. 5.8, б) представляет собой стальной цилиндр со сферическим днищем 10 и горловиной 8 для крепления запорного вентиля 6. На нижнюю часть баллона насаживают башмак 9, позволяющий ставить баллон вертикально. На горловине имеется кольцо 7 с резьбой для наворачивания защитного колпака 5. Средняя жидкостная вместимость баллона до 40 дм<sup>3</sup>. При давлении 15 МПа он вмещает 600 м<sup>3</sup> кислорода. Кислородные баллоны окрашивают в голубой цвет с черной надписью «Кислород».

Для снижения давления газа на выходе из баллона и поддержания постоянного рабочего давления применяют газовые редукторы. Кислородные редукторы понижают давление от 15 до 0,1 МПа, а ацетиленовые — от 1,6 до 0,02 МПа. Редукторы, применяемые в сварочной технике, обычно имеют два манометра, один из которых измеряет давление газа до входа в редуктор, второй — на выходе из него. Корпус редуктора окрашивают в определенный цвет, например голубой для кислорода, белый для ацетилена и т.д. К сварочной горелке кислород от редуктора подают через специальные резиновые шланги.

В качестве горючих газов можно применять ацетилен, природные газы, водород, пары бензина и керосина, нефтяные газы и др.

*Ацетилен* имеет большую теплоту сгорания по сравнению с другими горючими газами и высокую температуру пламени (3 200 °С), поэтому он более предпочтителен для газовой сварки. Ацетилен (С<sub>2</sub>Н<sub>2</sub>) — горючий газ с теплотой сгорания 54 кДж/м<sup>3</sup>.

Другие горючие газы могут быть использованы главным образом для кислородной резки, не требующей высокой температуры пламени.

Ацетиленовые баллоны окрашивают в белый цвет и делают на них красной краской надпись «Ацетилен». Их конструкция аналогична конструкции кислородных баллонов. Давление ацетилена в баллоне 1,5 МПа. В баллоне находятся пористая масса (активированный уголь) и ацетон. Растворение ацетилена в ацетоне позволяет поместить в малом объеме большое количество ацетилена. Растворенный в ацетоне ацетилен пропитывает пористую массу и становится безопасным.

*Сварочные горелки* используют для образования сварочного пламени. В промышленности наиболее распространена инжекторная горелка, так как она наиболее безопасна и работает на низком и среднем давлениях (рис. 5.9, а).

В инжекторной горелке кислород под давлением 0,1 ... 0,4 МПа через кислородный вентиль 6 подается к инжектору 5. Выходя с большой скоростью из узкого канала инжекторного конуса, кисло-

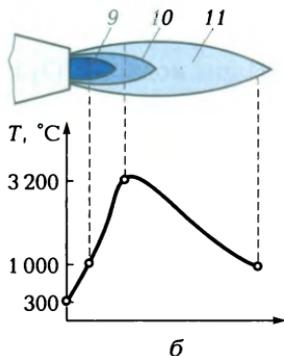
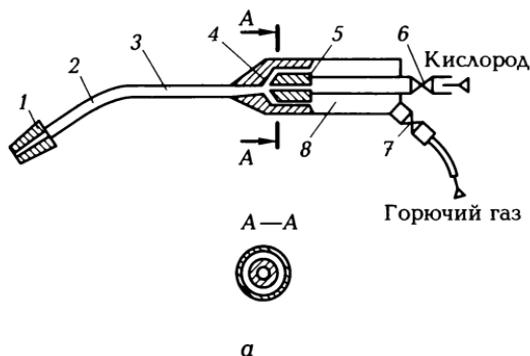


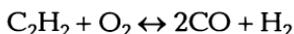
Рис. 5.9. Схемы инжекторной газовой горелки [а] и ацетилено-кислородного пламени [б]:

1 — мундштук; 2 — наконечник; 3 — камера смешения; 4 — инжекторная камера; 5 — инжектор; 6 — кислородный вентиль; 7 — ацетиленовый вентиль; 8 — ацетиленовый канал; 9 — ядро; 10 — средняя зона; 11 — факел пламени

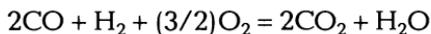
род создает значительное разрежение в камере 4, куда засасывается горючий газ, поступающий через вентиль 7 в ацетиленовые каналы 8 горелки, газы смешиваются в камере смешения 3, где образуется горючая смесь. Затем горючая смесь поступает по наконечнику 2 к мундштуку 1, на выходе из которого при ее сгорании образуется сварочное пламя.

Горелки этого типа имеют сменные наконечники с различными диаметрами выходных отверстий инжектора и мундштука, что позволяет регулировать мощность ацетилено-кислородного пламени. Обычно горелки имеют семь номеров сменных наконечников.

*Сварочное пламя* образуется в результате сгорания ацетилена, смешивающегося в определенных пропорциях с кислородом в сварочных горелках. Ацетилено-кислородное пламя состоит из трех зон (рис. 5.9, б): ядра пламени 9, средней зоны 10 и факела пламени 11. В зоне 9 происходит постепенный нагрев до температуры воспламенения газовой смеси, поступающей из мундштука; в зоне 10 — первая стадия горения ацетилена за счет кислорода, поступающего из баллона:



Зона 10, имеющая самую высокую температуру и обладающая восстановительными свойствами, называется сварочной или рабочей зоной. В зоне 11 (факеле) протекает вторая стадия горения ацетилена за счет атмосферного кислорода:



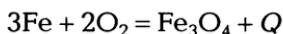
Пары воды и  $\text{CO}_2$  при высоких температурах окисляют металл, поэтому эта зона — окислительная. Сварочное пламя называется *нормальным*, когда соотношение  $\text{O}_2/\text{C}_2\text{H}_2 \approx 1,1$ . Нормальным пламенем сваривают большинство сталей. При увеличении содержания кислорода ( $\text{O}_2/\text{C}_2\text{H}_2 > 1,1$ ) пламя приобретает голубоватый оттенок и имеет заостренную форму ядра. Такое пламя обладает *окислительными* свойствами и может быть использовано только при сварке латуни. В этом случае избыточный кислород образует с цинком (содержащимся в латуни) тугоплавкие оксиды, пленка которых препятствует дальнейшему испарению цинка.

При увеличении содержания ацетилена ( $\text{O}_2/\text{C}_2\text{H}_2 < 1,1$ ) пламя становится *науглероживающим* и применяется для сварки чугуна и цветных металлов, так как в этом случае компенсируется выгорание углерода и восстанавливаются оксиды цветных металлов.

Для газовой сварки сталей присадочную проволоку выбирают в зависимости от состава сплава свариваемого изделия. Для сварки чугуна применяют специальные литые чугунные стержни; для наплавки износостойких покрытий — литые стержни из твердых сплавов. Для сварки цветных металлов и некоторых специальных сплавов используют флюсы, которые могут быть в виде порошков и паст; для сварки меди и ее сплавов — кислые флюсы (буру, буру с борной кислотой); для сварки алюминиевых сплавов — бескислородные флюсы на основе фтористых, хлористых солей лития, калия, натрия и кальция. Роль флюса — растворение оксидов и образование шлаков, легко всплывающих на поверхность сварочной ванны. Во флюсы можно вводить элементы, раскисляющие и легирующие наплавленный металл.

При увеличении толщины металла производительность газовой сварки резко снижается, свариваемые изделия значительно деформируются. Это ограничивает применение газовой сварки.

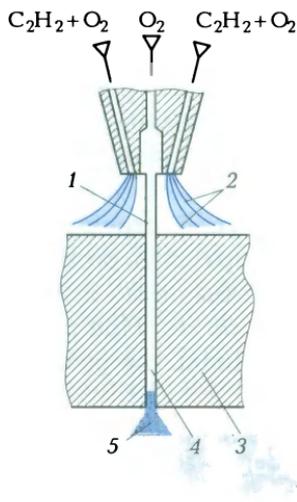
При *кислородной резке* происходит локальное сжигание металла в струе кислорода и удаление этой струей образующихся оксидов. При горении железа в кислороде выделяется значительное количество теплоты:



Для начала горения металл подогревают до температуры его воспламенения в кислороде (например, сталь до 1 000 ... 1 200 °С). На рис. 5.10 показан процесс кислородной резки. Заготовка 3 нагревается в начальной точке реза 4 подогревающим пламенем 2, затем на

Рис. 5.10. Схема кислородной резки:

1 — струя кислорода; 2 — подогревающее пламя;  
3 — заготовка; 4 — рез; 5 — оксиды



металл направляют струю режущего кислорода 1, и нагретый металл начинает гореть. Горение металла сопровождается выделением теплоты, которая вместе с подогревающим пламенем разогревает лежащие ниже слои на всю толщину металла. Образующиеся оксиды 5 расплавляются и выдуваются струей режущего кислорода из зоны реза 4. Конфигурация перемещения струи соответствует заданной форме вырезаемого изделия.

Для обеспечения нормального процесса резки металл должен обладать следующими свойствами: температура его плавления должна быть выше температуры горения в кислороде, а температура плавления оксидов металла — ниже температуры его плавления; количество теплоты, выделяющейся при сгорании металла в кислородной струе, должно быть достаточным для поддержания непрерывного процесса резки; металл должен иметь относительно низкую теплопроводность, в противном случае теплота интенсивно отводится и процесс резки прерывается; образующиеся оксиды должны быть достаточно жидкотекучими и легко выдвигаться струей режущего кислорода. Указанным требованиям отвечают железо, низкоуглеродистые и низколегированные стали.

По характеру и направленности кислородной струи различают следующие способы резки.

При *разделительной резке* режущая струя направлена нормально к поверхности металла и прорезает его на всю толщину. Разделительной резкой раскраивают листовую сталь, разрезают профильный материал, арматуру при строительных работах, вырезают косынки, круги, фланцы и т. д.

При *поверхностной резке* режущая струя направлена под очень малым углом к поверхности металла (почти параллельно ей) и обеспечивает грубую его строжку или обдирку. Ею удаляют поверхностные дефекты отливок.

Резка может быть ручной и механизированной. Ручная резка вследствие неравномерности перемещения резака и вибрации режущей струи не обеспечивает высокого качества реза, поэтому поверхность реза обычно механически обрабатывают.

Обычной кислородной резкой разрезают металлы толщиной 5...300 мм. При резке металла толщиной более 300 мм применяют специальные резаки.

## 5.9. КОНТАКТНАЯ СВАРКА

При контактной сварке металл нагревается проходящим по нему электрическим током, причем максимальное количество теплоты выделяется в месте контакта свариваемых заготовок (рис. 5.11). Общее количество теплоты, выделяемой при прохождении тока, определяется законом Джоуля — Ленца:  $Q = I^2 R t$ , где  $Q$  — количество теплоты, выделяемой током в сварочном контуре, Дж;  $I$  — сварочный ток, А;  $R$  — полное сопротивление сварочного контура, Ом;  $t$  — время протекания тока, с.

Полное сопротивление сварочного контура складывается из сопротивления  $R_{дет}$  (металла заготовок, заключенного между токопро-

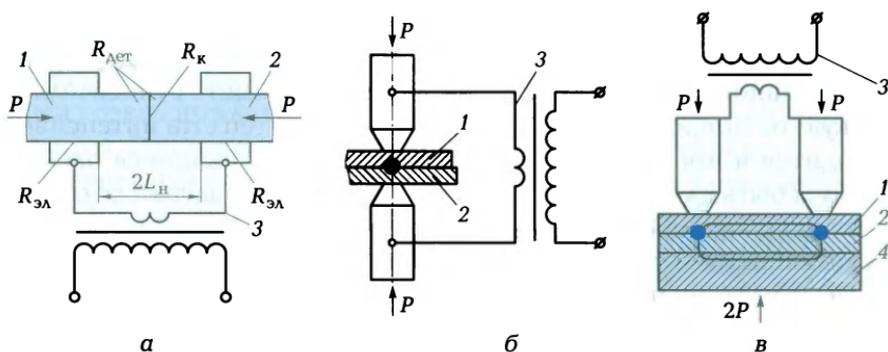


Рис. 5.11. Схемы контактной сварки:

*а* — стыковой (сопротивлением); *б* — точечной двухсторонней; *в* — односторонней; 1 и 2 — свариваемые заготовки; 3 — трансформатор; 4 — медная подкладка;  $P$  — усиление прижима электродов;  $R_{дет}$ ,  $R_к$ ,  $R_{эл}$  — сопротивления соответственно детали, сварочного контакта и электродов;  $L_н$  — установочная длина

водящими электродами), сопротивления  $R_k$  (сварочного контакта) и сопротивления  $R_{эл}$  (между электродами и заготовкой):

$$R = R_k + R_{дет} + \sum R_{эл}.$$

Сопротивление  $R_k$  по величине значительно превосходит сопротивление любого другого участка сварочного контура и поэтому, несмотря на то, что через весь контур протекает один и тот же по величине ток, максимальный нагрев будет в месте контакта ( $R_k$ ). Контактную сварку почти всегда выполняют как сварку давлением с силой  $P$  и осадкой разогретых заготовок. Иногда осадку сочетают с полным расплавлением основного металла, и зона сварки приобретает литую структуру металла, например, при точечной контактной сварке или при стыковой сварке оплавлением.

В основу классификации разновидностей контактной сварки положены два признака: род сварочного тока (переменного; импульсного; постоянного; сварку запасенной энергией конденсаторов или в магнитном поле специальных сварочных трансформаторов и т. д.) и тип сварного соединения.

По типу сварного соединения контактную сварку подразделяют на стыковую (сопротивлением и оплавлением), точечную, рельефную, Т-образную и шовную (роликовую).

При **стыковой сварке сопротивлением заготовки** (рис. 5.11, а) 1 и 2, предварительно плотно сжатые силой  $P$ , включают в цепь трансформатора 3, нагревают до пластического состояния протекающим током и сдавливают, причем сварка происходит по всей плоскости касания. Перед сваркой торцы свариваемых заготовок должны быть очищены от оксидных пленок и обработаны таким образом, чтобы между ними был плотный контакт. Основными параметрами при сварке сопротивлением являются установочная длина  $L_n$  (выпуск заготовки из зажима); удельное давление осадки  $p_{ос}$ , плотность тока  $j$  и длительность нагрева  $t$ . Установочная длина зависит от теплофизических свойств свариваемого металла, конфигурации стыка и размеров заготовок.

Стыковую сварку сопротивлением применяют для соединения заготовок из углеродистых, конструкционных и легированных сталей, медных и алюминиевых сплавов, некоторых сплавов титана. Свариваемые сечения должны иметь простую форму (круг, квадрат, кольцо). Максимальная площадь сечения не должна превышать  $100 \text{ мм}^2$ . Стыковую сварку сопротивлением применяют главным образом для соединения проволоки из цветных металлов

и тонкостенных трубок диаметром до 10 мм. При стыковой сварке оплавлением между торцами свариваемых заготовок оставляют зазор, затем к ним подводят напряжение от сварочного трансформатора и заготовки сближают до соприкосновения. При дальнейшем разведении заготовок на их торцах возникают искровые разряды, которые оплавливают металл. После оплавления всего сечения торца заготовки быстро сдавливают, расплавленный металл вытесняют из зазора между заготовками, и образуется сварное соединение по всей плоскости касания. При этом способе сварки предварительно удалять с торцов заготовок оксидные пленки не обязательно, так как в процессе осадки под током эти пленки выдавливаются на поверхность стыка.

Сварку оплавлением осуществляют двумя способами: без подогрева с непрерывным оплавлением и с подогревом за счет прерывистого оплавления. Этим способом можно сваривать как однородные, так и разнородные металлы и сплавы с максимальной площадью сечения 10 000 мм<sup>2</sup>.

**Точечная сварка** — вид контактной сварки, при которой заготовки соединяют в отдельных точках, причем одновременно можно сваривать одну, две или несколько точек. Положение точек определяется размещением электродов точечной машины. Точечная сварка может быть двухсторонней (рис. 5.11, б) или односторонней (рис. 5.11, в). При двухсторонней сварке необходимый нагрев осуществляется всем током, протекающим между электродами, расположенными по обе стороны заготовок 1 и 2; при односторонней сварке ток распределяется между верхней и нижней заготовками 1 и 2 и медной подкладкой 4; нагрев осуществляется током, протекающим через нижнюю заготовку и медную подкладку, применяемую для увеличения этого тока. Обычно точечную сварку выполняют как одноимпульсную сварку с постоянным давлением.

Точечной односторонней сваркой можно сваривать внахлестку две заготовки, двухсторонней — две, три и в некоторых случаях четыре заготовки, причем во всех случаях образуется общее литое ядро. Можно сваривать листы одинаковой и неодинаковой толщины, а также однородные и разнородные металлы и сплавы. Этим способом сваривают большинство углеродистых, конструкционных и легированных сталей, некоторые титановые сплавы, алюминиевые и медные сплавы.

Толщина свариваемых заготовок может быть от 0,001 до 5 мм.

**Рельефная сварка** родственна точечной. При этом способе сварки заготовки зажимают между плоскими электродами (контактными плитами), а соединение образуется в точках, соответ-

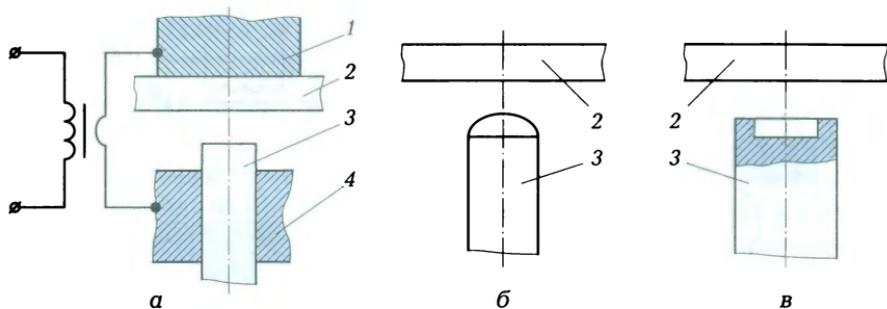


Рис. 5.12. Схемы Т-образной сварки листа с плоским (а), сферическим (б) и с отверстиями (в) торцами стержней:

1 и 4 — электроды; 2 — листы; 3 — стержни

ствующих выступам, предварительно выштампованным в одной из заготовок.

Разновидностью рельефной сварки является *Т-образная сварка*, когда стержни 3 торцами приваривают к листам 2 (рис. 5.12). На конце стержня делают либо выступы (например, сферические — как на рис. 5.12, б), либо глухие и сквозные отверстия. Т-образная сварка может быть выполнена на обычных сварочных контактных машинах в дополнительных приспособлениях.

**Шовной**, или **роликовой**, сваркой называют вид контактной сварки, при которой между свариваемыми заготовками образуется прочно-плотный шов, состоящий из ряда последовательно расположенных и частично перекрывающих друг друга сварных точек. Шовная сварка, как и точечная, может быть двухсторонней (рис. 5.13, а) и односторонней (рис. 5.13, б). Существует два цикла работы шовной машины: с непрерывным включением тока (рис. 5.13, в) и прерывистым (рис. 5.13, г). Последовательность операций в начале выполнения и при завершении сварки шва такая же, как и при точечной сварке, но весь процесс протекает при постоянном давлении. Первый цикл предназначен для сварки коротких швов и для сварки металлов и сплавов, не склонных к росту зерна и не претерпевающих заметных структурных превращений при нагреве в околшовной зоне (низкоуглеродистых и низколегированных сталей). Второй цикл — для сварки длинных швов и для сварки металлов и сплавов, боящихся перегрева околшовной зоны (коррозионно-стойкие стали, алюминиевые сплавы).

Основными параметрами шовной сварки являются плотность тока  $j$ , удельное давление  $p$  и время протекания тока  $t$ . Эти парамет-

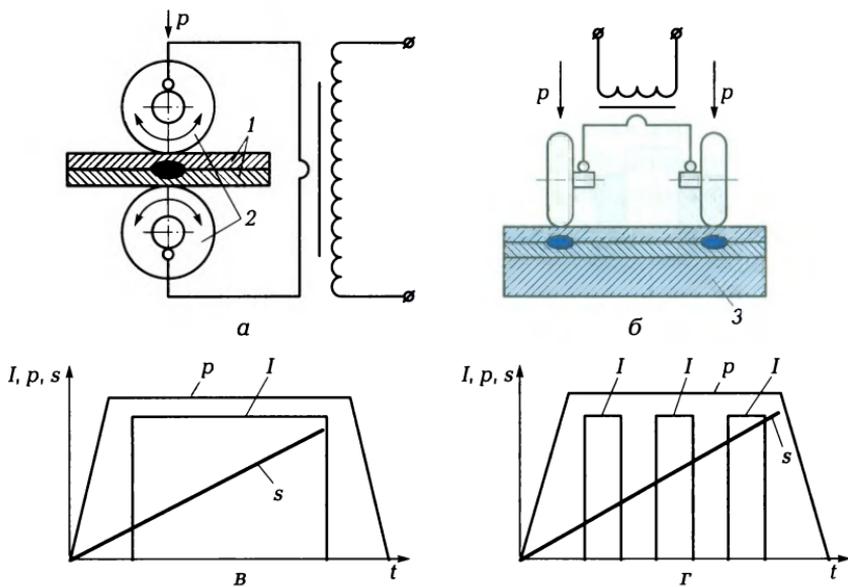


Рис. 5.13. Схемы двухсторонней (а) и односторонней (б) шовной сварки; циклограммы процесса шовной сварки с непрерывным (в) и с прерывистым (г) включением тока:

1 — заготовки; 2 — электроды; 3 — медная подкладка;  $p$  — давление;  $s$  — перемещение роликов;  $I$  — сварочный ток;  $t$  — время

тры подбирают в зависимости от толщины и химического состава свариваемого металла. Однако общий ток  $I$  устанавливают больше, чем при точечной сварке, это объясняется тем, что при шовной сварке часть тока шунтируется через ранее сваренный участок и для обеспечения достаточного прогрева места сварки общий ток должен быть больше. Шовную сварку применяют главным образом там, где требуется герметичность соединения для тех же металлов и сплавов, что и при точечной; толщины свариваемых металлов могут составлять от 0,001 до 3 мм.

В качестве **оборудования для контактной сварки** используют контактные машины. Любая контактная машина состоит из трех основных частей: источника тока, прерывателя тока и механизма давления.

Контактные машины работают на переменном токе (от нескольких тысяч до ста тысяч ампер). Электрическая схема всех типов контактных машин состоит из трех элементов: трансформатора, прерывателя и переключателя ступеней мощности.

Сущность сварки аккумулированной энергией заключается в том, что кратковременный сварочный процесс осуществляют за счет энергии, запасенной соответствующим приемником, непрерывно заряжающимся и периодически разряжающимся на сварку.

Существуют четыре разновидности сварки аккумулированной энергией: конденсаторная, электромагнитная, инерционная и аккумуляторная. Накопление энергии происходит соответственно в батарее конденсаторов, в магнитном поле специального сварочного трансформатора, во вращающихся частях генератора или в аккумуляторной батарее.

Наибольшее промышленное применение получила **конденсаторная сварка**. Энергия накапливается в конденсаторах при их зарядке от источника постоянного тока (генератора или выпрямителя), а затем в процессе разрядки конденсаторов преобразуется в теплоту, используемую для сварки. Накопленную в конденсаторах энергию  $A$ , Дж, можно регулировать изменением емкости и напряжения зарядки:

$$A = CU^2/2,$$

где  $C$  — емкость конденсаторов, Ф;  $U$  — напряжение зарядки конденсатора, В.

При конденсаторной сварке возможны точная дозировка количества энергии, не зависящая от внешних условий, в частности от напряжения сети. При высокой плотности тока малое время протекания тока (тысячные и десятитысячные доли секунды), обеспечивающее небольшую зону термического влияния, позволяет сваривать материалы малых толщин (до нескольких микрометров) и разнородные материалы между собой. Конденсаторная сварка отличается невысокой потребляемой мощностью (0,2...2,0 кВ · А).

Существуют два способа конденсаторной сварки: *бестрансформаторная* (конденсаторы разряжаются непосредственно на свариваемые заготовки) и *трансформаторная* (конденсатор разряжается на первичную обмотку сварочного трансформатора, во вторичной цепи которого между электродами помещены предварительно сжатые усилием  $P$  свариваемые заготовки).

Примером бестрансформаторной сварки служит ударная конденсаторная сварка (рис. 5.14, а), когда концы обкладок конденсатора подключены непосредственно к электродам-приспособлениям 2 и 5, в которых закрепляют свариваемые заготовки 3 и 4. Электрод 5

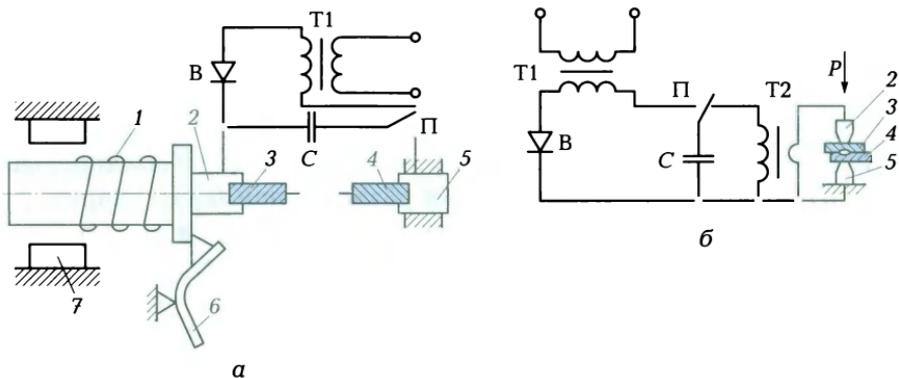


Рис. 5.14. Схемы конденсаторной сварки:

а — бестрансформаторной; б — трансформаторной: 1 — пружина; 2 и 5 — электроды-приспособления; 3 и 4 — заготовки; 6 — защелка; 7 — направляющие; В — выпрямитель; Т1 — повышающий трансформатор; П — переключатель; С — конденсаторная батарея; Т2 — сварочный трансформатор; Р — усилие прижима

с заготовкой 4 неподвижны, а электрод 2 с заготовкой 3 может перемещаться в направляющих 7. Если освободить защелку 6, удерживающую электрод 2 с заготовкой 3, то под воздействием пружины 1 она быстро переместится по направлению неподвижной заготовки 4 и ударится о нее. Перед соударением возникает мощный разряд за счет энергии, накопленной в конденсаторе. Этот разряд оплавляет торцы обеих заготовок, которые после соударения свариваются между собой под действием силы осадки. Бестрансформаторной сваркой можно сваривать встык проволоки и тонкие стержни разной толщины из разнородных металлов (вольфрам — никель, молибден — никель, медь — константан).

Трансформаторная конденсаторная сварка предназначена в основном для точечной и шовной сварки, но может быть использована и для стыковой. При этом способе разряд конденсатора преобразуется с помощью сварочного трансформатора (рис. 5.14, б). В левом положении переключателя П конденсатор С заряжается от источника постоянного тока. В правом положении переключателя происходит разряд конденсатора на первичную обмотку сварочного трансформатора Т2. При этом во вторичной обмотке индуцируется ток большой силы, обеспечивающий сварку предварительно зажатых между электродами заготовок.

Конденсаторную сварку применяют в производстве приборов.

Оборудование для конденсаторной сварки должно иметь высокую точность и стабильность дозировки тока; стабильность меха-

нических сил сжатия. Конденсаторные машины обычно состоят из батареи конденсаторов, выпрямительных устройств, сварочного трансформатора (при трансформаторной конденсаторной сварке), выключателя сварочного тока, вспомогательных устройств и стола, на котором выполняются подготовительные и сварочные операции.

В зависимости от типа свариваемого соединения конденсаторные машины, как и обычные контактные машины, выпускаются точечные, шовные и стыковые. По назначению и характеру действия эти машины подразделяют на два основных класса: универсальные (неавтоматические и полуавтоматические) и специализированные (неавтоматические, полуавтоматические и автоматические).

## 5.11. ХОЛОДНАЯ СВАРКА

*Соединение* при этом способе осуществляют без нагрева (при нормальных и даже при отрицательных температурах). Физическая сущность процесса заключается в образовании металлических связей между свариваемыми поверхностями и, следовательно, прочных соединений в результате совместного пластического деформирования за счет трения при вращении или возвратно-поступательном перемещении зажатых заготовок друг относительно друга. При холодной сварке необходимо тщательно очищать свариваемые поверхности от адсорбированных жировых пленок. Схема процесса холодной сварки показана на рис. 5.15. Подготовленные к сварке заготовки 3 и 4 (рис. 5.15, а) помещают между соосно расположенными пуансонами, состоящими из рабочих выступов 2 и 5 и опорных частей 1 и 6. Обе части каждого пуансона неподвижны

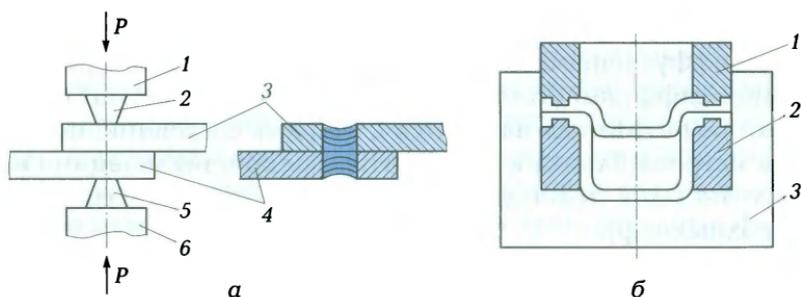


Рис. 5.15. Схемы холодной сварки:

*а* — точечной: 1 и 6 — опорные части; 2 и 5 — рабочие выступы; 3 и 4 — заготовки;  $P$  — усилие прижима; *б* — по контуру: 1 и 2 — пуансоны; 3 — корпус

относительно друг друга и представляют собой единые детали 1, 2 и 5, 6. При приложении соответствующего усилия рабочие выступы вдавливают в металл, осуществляя требуемую для сварки пластическую деформацию, во время которой толщина заготовок уменьшается. Холодной сваркой выполняют соединения внахлестку, встык, заваривают отверстия труб, сваривают полые заготовки по контуру и др. Схема холодной сварки полых заготовок по контуру в непосредственной близости от его стенок представлена на рис. 5.15, б. Пуансоны 1 и 2 строго центрируются. Центровку проводят при помощи корпуса 3. При холодной сварке место соединения получается чистым и не требует дальнейшей механической обработки. Этот способ применяют главным образом для соединения достаточно пластичных материалов: алюминия, дуралюмина, сплавов меди, никеля, цинка, серебра и т.д. Можно сваривать медь с коваром, медь с алюминием, медь с серебром и т.д.

*Оборудованием* для холодной сварки служат гидравлические, рычажные и эксцентриковые прессы.

## **5.12. ДИФФУЗИОННАЯ СВАРКА В ВАКУУМЕ**

Сущность способа диффузионной сварки в вакууме заключается в следующем: свариваемые заготовки 6 помещают на стол 7 в камеру 3 (рис. 5.16), в которой создают вакуум 0,13...0,0013 МПа, и сдавливают их небольшим усилием при помощи штока поршня 1 гидроцилиндра 2. Затем заготовки нагревают нагревателем 5 и выдерживают некоторое время при заданной температуре. Время выдержки и температура нагрева определяются родом свариваемого металла, размерами и конфигурацией свариваемых заготовок. После медленного охлаждения (на камере 3 закреплен трубопровод 4, по которому пропускают воду) давление снимают.

При диффузионной сварке соединение образуется в результате взаимной диффузии атомов в поверхностных слоях контактирующих металлов. Металл находится в твердом состоянии, но температура нагрева близка к температуре рекристаллизации свариваемых металлов (или более легкоплавкого металла в соединении разнородных пар).

Отсутствие воздуха в камере предотвращает образование оксидной (препятствующей диффузии) пленки на поверхности.

Надежный контакт между свариваемыми поверхностями обеспечивают предварительной их очисткой от оксидов и загрязнений и механической обработкой до высокого качества поверхности. Тон-

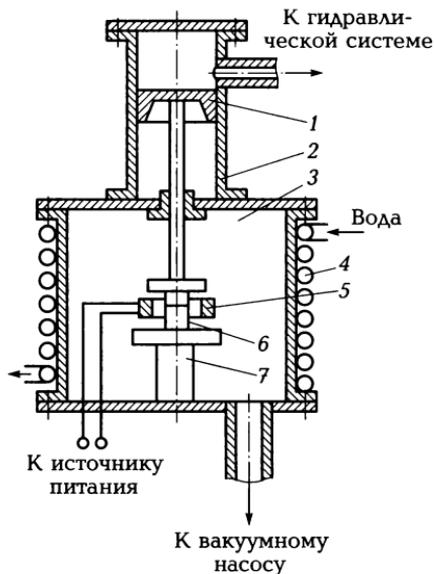


Рис. 5.16. Схема диффузионной сварки в вакууме:

1 — поршень со штоком; 2 — гидравлический цилиндр; 3 — камера; 4 — трубопровод охлаждения; 5 — нагреватель; 6 — свариваемые заготовки; 7 — опора (стол)

чайшие адсорбированные газовые и масляные пленки не препятствуют образованию соединения, так как испаряются в вакууме.

Заготовки нагревают с помощью нагревателей сопротивления; высокочастотных индукторов; электронным лучом или несколькими лучами, генерируемыми отдельными электронно-оптическими системами.

Усилие сжатия создают с помощью механических, гидравлических или пневматических устройств. Сжимающее давление, необходимое для увеличения площади действительного контакта поверхностей, составляет обычно 1...20 МПа или более.

Диффузионная сварка выгодно отличается от других способов тем, что для образования соединения не нужно применять припои, флюсы, электроды и прочие вспомогательные материалы. Подавляющее большинство металлов и материалов можно соединять в однородном и разнородном сочетаниях, при этом исходные физико-механические свойства соединяемых элементов практически не изменяются. Если сваривают однородные материалы (например, одинаковые металлы, полупроводниковые элементы одинакового состава и т.д.), в соединении не удастся обнаружить границы раздела двух тел. При сварке разнородных металлов, особенно таких,

элементы которых не обладают взаимной растворимостью, в месте стыка может появиться хрупкая прослойка, состоящая из интерметаллических соединений, сильно снижающих пластичность и прочность. В этом случае сварку проводят с промежуточной прокладкой в виде фольги из третьего металла, образующего твердые растворы с элементами свариваемой пары. Такие же прокладки используют при сварке материалов, у которых сильно отличаются температурные коэффициенты линейного расширения. Другое достоинство диффузионной сварки — это возможность соединять заготовки не только по плоским, но и по рельефным поверхностям — коническим, сферическим и другой сложной формы.

Диффузионную сварку успешно применяют для сварки магнитных сплавов. Методом диффузионной сварки изготавливают биметаллические, триметаллические и тетраметаллические детали.

Наряду с указанными примерами сочетания металлов в соединениях диффузионным методом можно сваривать стали с алюминием, вольфрамом, титаном и молибденом; медь с алюминием и титаном, титан с платиной; серебро с нержавеющей сталью, бронзы с различными металлами, керамику с керамикой и с металлами.

Диффузионную сварку чаще выполняют в вакууме, но она возможна и в атмосфере инертных и защитных газов.

Диффузионную сварку керамических материалов с металлами проводят в вакууме или в среде водорода.

Установки для диффузионной сварки в вакууме состоят из камеры вакуумной системы для создания требуемого вакуума в камере, системы сжатия заготовок и аппаратуры управления. Наряду с установками для индивидуального производства, имеющими обычно ручное управление, создают установки для серийного и поточно-массового производства с полуавтоматическим или автоматическим программным управлением.

## **5.13. СВАРКА УЛЬТРАЗВУКОМ**

Сведения о методах возбуждения ультразвуковых (УЗ) колебаний, о магнитострикционных преобразователях, об акустических узлах и инструментах для УЗ-обработки были приведены в подразд. 5.6.

Для получения неразъемного соединения при сварке ультразвуком заготовки в месте требуемого соединения предварительно сжимают, а затем в зону контакта с помощью специального инструмента передают УЗ-колебания частотой от 15 до 170 кГц. В ре-

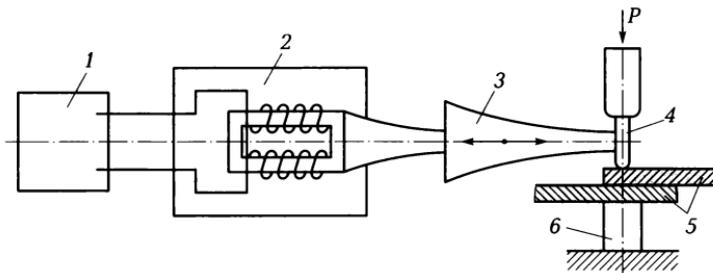


Рис. 5.17. Схема точечной ультразвуковой сварки:

1 — высокочастотный генератор; 2 — магнитострикционный преобразователь; 3 — концентратор; 4 — инструмент; 5 — свариваемые заготовки; 6 — опора

в результате в тонких слоях контактирующих поверхностей создаются сдвиговые деформации, разрушающие поверхностные пленки. Тонкие поверхностные слои металла нагреваются, металл размягчается и под действием сжимающего усилия пластически деформируется. При сближении поверхностей на расстояние действия межатомных сил между поверхностями возникает прочная связь.

Сравнительно небольшое тепловое воздействие на свариваемые материалы обеспечивает минимальное изменение их структуры, механических и других свойств. Например, при сварке меди температура в зоне контакта не превышает  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а при сварке алюминия  $200\text{...}300\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Это особенно важно при сварке активных металлов, а также металлов, охрупчивающихся в результате нагрева.

Принципиальная схема машины для точечной УЗ-сварки показана на рис. 5.17.

Питание от высокочастотного генератора 1 с плавной настройкой частоты тока подводится к магнитострикционному преобразователю 2, являющемуся источником УЗ-колебаний и трансформатором амплитуд колебаний. Длина наконечника двухступенчатого инструмента 4 обычно равна целому числу полуволн УЗ-волны. Колеблющийся в осевом направлении концентратор 3 имеет на конце рабочий инструмент 4. Свариваемые заготовки 5 помещают между наконечником инструмента 4 и опорой 6. Возникающие под воздействием силы  $P$  силы трения обуславливают образование соединения.

Одно из достоинств УЗ-сварки — это возможность соединять заготовки различной толщины, например тонкие листы и фольги с деталями большой толщины. Так как сила сдавливания невелика, сечение материала в зоне соединения не изменяется. Другое существенное достоинство УЗ-сварки заключается в хорошей свариваемости металлов в разнородных сочетаниях, например, алюминия

с медью, меди со сталью, никеля с вольфрамом и др. Этот метод используют при сварке пластмасс.

Устройство машин для шовной УЗ-сварки в принципе аналогично устройству машин для точечной сварки. Отличие их заключается лишь в том, что рабочий инструмент и опора выполнены в форме роликов.

## 5.14. ТИПЫ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Тип сварного соединения определяют взаимным расположением свариваемых элементов и формой подготовки (разделки) их кромок под сварку (рис. 5.18). По первому признаку различают четыре основных типа сварных соединений: стыковые, нахлесточные, угловые и тавровые. Кроме того, используют комбинированные соединения (например, с накладками), в которых сочетают по несколько основных типов сварных соединений.

Для получения всех вышеперечисленных сварных соединений применяют непрерывные, прерывистые и точечные сварные швы.

Кромки разделяют (создают углы притупления и зазоры) в целях *полного провара заготовок по сечению*. Это одно из условий равнопрочности сварного соединения с основным металлом. Форму и размеры элементов разделки (угол притупления и зазоры) назначают исходя из условия проплавления и чтобы обеспечить формирование *корня шва* (без непроваров и прожогов) и минимальный объем наплавленного металла.

Тип сварного соединения наряду с общими конструктивными соображениями выбирают, чтобы обеспечить равнопрочность соединения с основным металлом и технологичность. Выбор разделки кромок зависит от толщины металла, его теплофизических свойств и вида сварки.

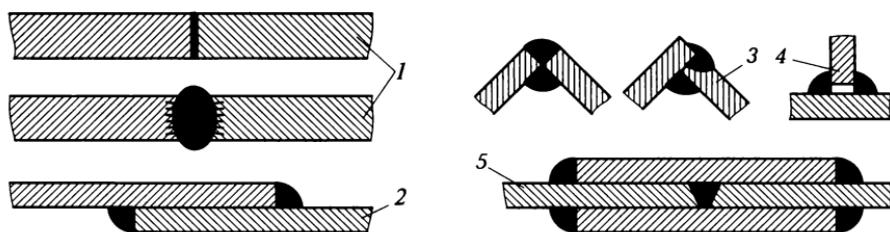


Рис. 5.18. Типы сварных соединений:

1 — стыковые; 2 — нахлесточные; 3 — угловые; 4 — тавровые; 5 — с накладкой

**Стыковые** (наиболее распространенные) **соединения** элементов плоских и пространственных заготовок имеют высокую прочность при статических и динамических нагрузках. Их выполняют практически всеми видами сварки плавлением и многими видами сварки давлением.

**Тавровые соединения** широко применяют при изготовлении пространственных заготовок. Соединения с односторонней и двухсторонней разделками кромок, выполненные с полным проваром, имеют высокую прочность при любых нагрузках. Тавровые соединения выполняют всеми видами сварки плавлением. Сварку давлением для тавровых соединений используют редко (для приварки стержня к пластине стыковой контактной сваркой оплавлением и сваркой трением и т. д.).

**Нахлесточные** соединения часто применяют для сварки листовых заготовок при необходимости простой подготовки и сборки под сварку. Эти соединения, выполненные сваркой плавлением, менее прочны по сравнению со стыковыми соединениями. Они неэкономичны вследствие перерасхода основного металла, обусловленного наличием перекрытия (свариваемых элементов) и наплавленного металла в связи с выполнением двух угловых швов. В то же время нахлесточное — основное соединение тонколистовых элементов при сварке давлением, особенно при контактной точечной и шовой сварке.

**Угловые** соединения, как правило, выполняют в качестве связующих. Они не предназначены для передачи рабочих усилий. Их выполняют всеми видами сварки плавлением.

## 5.15. ПАЙКА

**Пайка** — процесс соединения металлов или неметаллических материалов посредством расплавленного припоя и имеющего температуру плавления ниже температуры плавления соединяемых материалов — основного металла (или неметаллического материала).

Процесс пайки применяют либо для получения отдельных деталей, либо для сборки узлов или окончательной сборки изделий. В процессе пайки происходит взаимное растворение и диффузия припоя и основного металла, чем и обеспечиваются прочность, герметичность, электропроводность и теплопроводность паяного соединения. При пайке не происходит расплавления материала (металла) спаиваемых заготовок, благодаря чему резко снижается

степень коробления и окисления металла, а также обеспечивается возможность распая соединения (разборки изделия).

Для получения качественного соединения температура нагрева спаиваемых заготовок в зоне шва должна быть на 50...100 °С выше температуры плавления припоя. Спаиваемые заготовки нагревают в печах, в пламени газовой горелки, токами высокой частоты, паяльниками. Прочного соединения припоя (сплавление припоя) с основным металлом можно достигнуть лишь в том случае, если поверхности спаиваемых заготовок свободны от оксидов и загрязнений. Для защиты поверхностей спаиваемых заготовок от интенсивного окисления (в результате нагрева) место пайки покрывают флюсом, который образует жидкую и газообразную преграды между поверхностями спаиваемых заготовок и окружающим воздухом.

По прочности паяные соединения уступают сварным. Паять можно углеродистые и легированные стали всех марок, твердые сплавы, цветные металлы, серые и ковкие чугуны. При пайке металлы соединяются в результате смачивания, растекания жидкого припоя по нагретым поверхностям и затвердевания его после охлаждения. Прочность сцепления припоя с соединяемыми поверхностями зависит от физико-химических и диффузионных процессов, протекающих между припоем и основным металлом и, как правило, определяется прочностными характеристиками припоя.

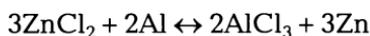
По условиям заполнения зазора пайку можно разделить на капиллярную и некапиллярную. При *капиллярной* пайке припой заполняет зазор между соединяемыми поверхностями и удерживается в нем за счет капиллярных сил. Соединение образуется в результате растворения основного металла в жидком припое и последующей кристаллизации раствора, в результате чего образуется полурасплав основного металла и припоя. Капиллярную пайку используют при соединении внахлестку. По механизму образования шва ее подразделяют на диффузионную, контактно-реактивную, реактивно-флюсовую.

При *диффузионной пайке* соединение образуется за счет взаимной диффузии компонентов припоя и паяемых материалов, причем возможно образование в шве твердого раствора или тугоплавких хрупких интерметаллидов. Для диффузионной пайки необходима продолжительная выдержка при температуре образования паяного шва и после завершения процесса — при температуре ниже солидуса припоя (когда припой затвердел).

При *контактно-реактивной пайке* между соединяемыми металлами или соединяемыми металлами и прослойкой промежуточного

металла в результате контактного плавления образуется сплав, который заполняет зазор и при кристаллизации образует паяное соединение.

При **реактивно-флюсовой пайке** припой образуется за счет реакции вытеснения между металлом (основным) и флюсом. Например, при пайке алюминия с флюсом



восстановленный цинк служит припоем. Реактивно-флюсовую пайку можно вести без припоя и с припоем.

К **некапиллярным способам** относятся пайка-сварка и сварка-пайка. При **пайке-сварке** соединения образуются, как и при сварке плавлением, но в качестве присадочного металла применяют припой. При **сварке-пайке** соединяют разнородные материалы с применением местного нагрева. Более легкоплавкий материал при достижении температуры плавления выполняет роль припоя.

Наибольшее применение получили капиллярные способы пайки и пайка-сварка.

Качество паяных соединений (прочность, герметичность, надежность и др.) зависит от правильного выбора основного металла, припоя, флюса, способа нагрева, зазоров, типа соединения.

**Припой.** К припоям предъявляют следующие требования: высокая механическая прочность припоев в условиях нормальных, высоких и низких температур, хорошие электро- и теплопроводность, герметичность, стойкость против коррозии, жидкотекучесть при температуре пайки, хорошее смачивание основного металла, определенные для данного припоя температура плавления и величина температурного интервала кристаллизации. В зависимости от температуры плавления все припои подразделяют на особолегкоплавкие (температура плавления — до 145 °С), легкоплавкие (145... 450 °С), среднеплавкие (450... 1 100 °С) и тугоплавкие (свыше 1 050 °С). К особолегкоплавким и легкоплавким припоям относят оловянно-свинцовые, на основе висмута, индия, кадмия, цинка, олова, свинца. К среднеплавким и высокоплавким припоям относят медные, медно-цинковые, медно-никелевые, с благородными металлами (серебром, золотом, платиной). Припои изготавливают в виде прутков, проволок, листов, полос, спиралей, дисков, колец, зерен и др., укладываемых в место соединения.

Изделия из алюминия и его сплавов паяют с припоями на алюминиевой основе с добавками кремния, меди, олова и других металлов. Магний и его сплавы паяют припоями на основе магния с добавками алюминия, меди, марганца и цинка. Изделия из

коррозионно-стойких сталей и жаропрочных сплавов, работающих при высоких температурах (выше 500 °С), паяют тугоплавкими припоями на основе железа, марганца, никеля, кобальта, титана, циркония, гафния, ниобия и палладия.

**Флюсы паяльные.** Их применяют для очистки поверхности паяемого материала, а также для снижения поверхностного натяжения и улучшения растекания жидкого припоя. Флюс (кроме реактивно-флюсовой пайки) не должен химически взаимодействовать с припоем. Температура плавления флюса должна быть ниже температуры плавления припоя. Флюс в расплавленном и газообразном состояниях должен способствовать смачиванию поверхности основного металла расплавленным припоем. Флюсы могут быть твердые, пастообразные и жидкие. Для пайки наиболее применимы флюсы: бура  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$  и борная кислота  $\text{H}_2\text{BO}_3$ , хлорид цинка  $\text{ZnCl}_2$ , фторид калия  $\text{KF}$  и др.

Иногда флюсующее действие производит сам припой с соответствующими добавками раскислителей (например, медно-фосфористые припои).

**Подготовка заготовок к пайке. Лужение.** Перед пайкой поверхности заготовок очищают от пыли, жира, краски, ржавчины, окалины и оксидной пленки. В процессе зачистки получают шероховатую поверхность для увеличения смачивания основного металла.

Зачистку проводят напильником, наждачной шкуркой, металлическими щетками (крацевание) и др.

Заготовки перед пайкой обезжиривают в бензине или четыреххлористом углероде или подвергают травлению с последующей промывкой в воде и просушиванием в сушильном шкафу во избежание коррозии. Очищенные заготовки следует хранить в условиях, исключающих попадание на них жира и грязи и возникновение коррозии.

В большинстве случаев заготовки перед пайкой лудят, что облегчает последующую пайку.

При лужении *электропаяльником* (рис. 5.19, а) место пайки покрывают флюсом, затем с помощью паяльника наносят расплавленный припой. Температура заготовок в зоне пайки поддерживается паяльником и должна быть на 50... 100 °С выше температуры плавления припоя. Если одна из поверхностей будет нагрета выше температуры плавления припоя, а вторая ниже, происходит нарушение процесса пайки, нагретую поверхность припой смачивает, а на второй он застывает и не затекает в зазоры.

Лужение проводят также в ванночке с расплавленным припоем, при этом заготовки сначала погружают в сосуд с флюсом, потом в расплавленный припой.

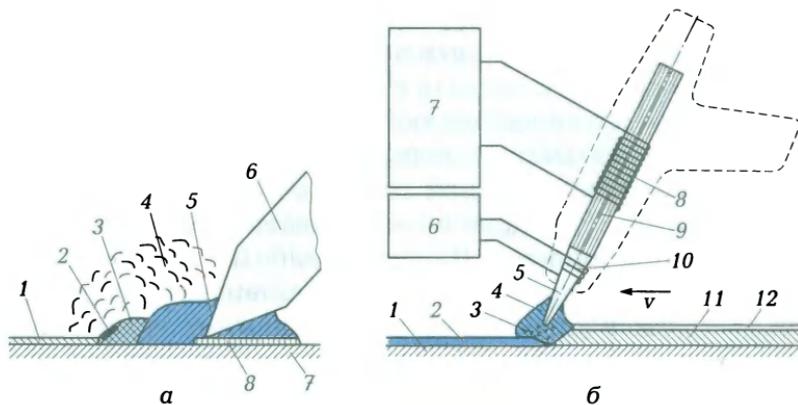


Рис. 5.19. Схемы лужения:

*a* — электропаяльником: 1 — оксидная пленка; 2 — растворенный окисел; 3 — жидкий флюс; 4 — газообразный флюс; 5 — жидкий припой; 6 — рабочий стержень; 7 — основной металл; 8 — полуда; *б* — ви б р а ц и о н н ы м п а я л ь н и к о м: 1 — основной металл; 2 — оксидная пленка; 3 — кавитационные пузырьки; 4 — жидкий припой; 5 — рабочий стержень; 6 — понижающий трансформатор; 7 — ламповый генератор; 8 — обмотка возбуждения; 9 — магнитопровод; 10 — нагревательная обмотка; 11 — полуда; 12 — частицы оксидной пленки; *v* — скорость сварки

При пайке алюминия с помощью ультразвука лужение поверхностей проводится или паяльниками, вибрирующими с УЗ-частотой, или в специальных УЗ-ванночках с расплавленным припоем.

При лужении *вибрационным (ультразвуковым) паяльником* (рис. 5.19, *б*) для возбуждения продольных колебаний рабочего стержня 5 паяльника применяют магнитоstrictionные вибраторы<sup>1</sup>. Вибраторы представляют собой магнитопровод 9 с обмоткой возбуждения 8, питаемой переменным током от лампового генератора 7 при частоте от 20 до 25 кГц. Обмотка создает переменное электромагнитное поле.

Магнитопровод 9, соединенный с рабочим стержнем 5 УЗ-паяльника, создает интенсивные колебания, способные вызвать кавитацию (нарушение сплошности) расплавленного припоя 4 в зоне пайки. Нагревает рабочий стержень 5 паяльника нагревательная обмотка 10, питаемая переменным током от понижающего трансформатора 6. Применяют УЗ-паяльники и без нагревательного элемента. В этом случае нагрев (до 260...300 °С) заготовки,

<sup>1</sup> **Магнитоstrictionный вибратор** — ферромагнитный стержень, изменяющий свою длину под действием переменного магнитного поля (вибрирующий с его частотой).

подлежащей лужению, осуществляют от постороннего источника теплоты — газовой горелки или электроплитки.

Лужение основного металла с помощью УЗ-паяльника происходит в непосредственной близости от колеблющегося конца рабочего стержня 5 паяльника, который генерирует знакопеременные волновые давления, и, с одной стороны, механически разрушает оксидную пленку 2, а с другой, — вызывает растяжения и сжатия частиц жидкого припоя 4. В местах наиболее интенсивного облучения растяжения влекут за собой кавитацию жидкого припоя и между его частицами появляются разрывы, которые мгновенно заполняются воздухом или газом, имеющимися в припое 4, образуя мельчайшие (диаметром в несколько микрометров) пузырьки 3. За растяжением наступает сжатие частиц расплавленного припоя, и пузырьки немедленно после образования сжимаются, а затем захлопываются. Сжатие пузырьков вызывает повышение в них давления до десятков мегапаскалей, а их захлопывание сопровождается весьма большими ударными импульсами, действующими на окружающий их жидкий припой, а также на поверхность алюминиевых заготовок.

Эрозия (разрушение) оксидной пленки 2 под слоем расплавленного припоя 4 в основном осуществляется за счет знакопеременных волновых давлений, излучаемых колеблющимся концом рабочего стержня 5, а ударные импульсы, действующие при захлопывании кавитационных пузырьков, дополнительно механически разрушают оксидную пленку 2 и способствуют удалению раздробленных частиц 12 этой пленки. Частицы 12, обладающие меньшим удельным весом, всплывают на поверхность припоя, который беспрепятственно облуживает очищенную поверхность основного металла 1. При этом происходит сплавление припоя с обнаженным основным металлом 1 и образование слоя 11 сплава (полуды) припоя с основным металлом. На поверхности затвердевшего слоя полуды остается слой шлака, который представляет собой частицы диспергированного (тонко измельченного) оксида алюминия. Постепенно перемещая паяльник, покрывают полудой всю поверхность соединения.

Рабочий стержень 5 паяльника, подвергающийся во время пайки воздействию эрозии, изготавливают из серебряно-никелевого сплава, обладающего высокой кавитационной стойкостью.

Форму или размеры конца рабочего стержня паяльника для выполнения конкретной операции изменяют заменой рабочей части стержня специальным приспособлением, которое должно иметь строго определенные размеры для соблюдения резонансных характеристик системы.

Ультразвуковой метод лужения обеспечивает высокую производительность, повышает механическую прочность и коррозионную стойкость соединений.

**Способы пайки.** Способы классифицируют в зависимости от используемых источников нагрева. Наиболее распространены в машиностроении пайка в печах, индукционная, контактная, погружением, газоплазменная и паяльниками.

**Пайка в печах.** Для пайки используют электрические печи и реже — пламенные печи. Нагрев заготовок под пайку проводят в обычной, восстановительной или обладающей защитными свойствами средах. Пайку твердыми припоями в печах с обычной средой (атмосферой) проводят, применяя флюсы. При пайке в печах с контролируемой средой подлежащие пайке заготовки (из чугуна, меди или медных сплавов) соединяют с возможно малым зазором, затем на шов налагают твердый припой в виде проволоки, кусочков или специально штампованных фасонных колец. Собранные таким образом паяемые узлы помещают в печь, разогретую до температуры, несколько превышающей температуру плавления припоя; в камеру печи из специальной установки подают защитную (контролируемую) атмосферу (восстановительную или обладающую защитными свойствами).

Пайку в печах иногда заменяют пайкой в специальных герметических контейнерах, продуваемых восстановительным газом и устанавливаемых в печь после загрузки в них заготовок. Пайка в восстановительной среде обеспечивает соединения высокой прочности, предохраняет соединяемые заготовки от окисления и обезуглероживания и обеспечивает высокую производительность, так как допускает групповую обработку заготовок.

В качестве припоев при пайке в печах служат электролитическая медь М1, М2, латунь Л62 (при пайке черных металлов), легкоплавкие серебряные и медные припои (при пайке меди и ее сплавов, нержавеющей стали, чугуна), специальные алюминиевые припои (при пайке алюминия и его сплавов) и др.

**Индукционная пайка (пайка токами высокой частоты).** При индукционной пайке заготовки нагревают индуктируемыми в них вихревыми токами. Индукторы (рис. 5.20, а и б) изготавливают из медных трубок, преимущественно прямоугольного или квадратного сечения в зависимости от конфигурации заготовок, подлежащих пайке.

При индукционной пайке быстрый нагрев заготовки до температуры пайки обеспечивают, используя энергии высокой концентрации. Для предохранения индуктора от перегрева и расплавления применяют водяное охлаждение.

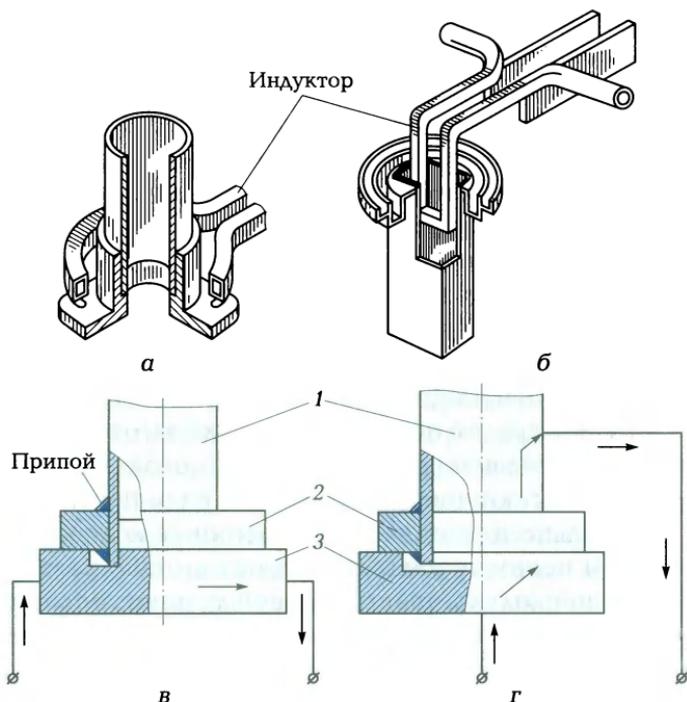


Рис. 5.20. Схемы индукционной и контактной пайки:

*а* — наружный нагрев; *б* — нагрев изнутри заготовок; *в* — косвенный нагрев; *г* — прямой нагрев заготовок; 1 и 2 — заготовки; 3 — электрод

Защищают поверхности заготовок от окисления и окалины твердыми флюсами. Для этой же цели индукционную пайку проводят в вакууме или в восстановительной, или нейтральной средах.

Индукционную пайку можно проводить твердыми припоями почти всех типов, но медь и медноцинковые припои для пайки заготовок из меди и ее сплавов не рекомендуются. Для флюсования применяют буру, ее смесь с борным ангидридом и т.д.

В качестве источников питания при высокочастотной пайке применяют ламповые генераторы, а также установки с машинными генераторами повышенной частоты.

**Контактная пайка (пайка сопротивлением).** При этом способе пайки электрический ток низкого напряжения (от 4 до 12 В), но сравнительно большой силы (2000...3000 А) пропускают через электроды и за короткое время нагревают их до высокой температуры. Заготовки нагреваются как за счет теплопроводности от

нагретых электродов, так и за счет теплоты, выделяемой током при его прохождении в самих заготовках (рис. 5.20, в и г).

При косвенном нагреве (см. рис. 5.20, в) электрический ток течет по электроду 3 и нагревает его, а заготовки 1 и 2 нагреваются от электрода за счет теплопроводности.

При прямом нагреве (см. рис. 5.20, г) заготовки 1 и 2 непосредственно включены в электрическую цепь и по ним протекает ток. Они нагреваются за счет теплоты, выделяемой проходящим по ним электрическим током, и за счет теплопроводности от электрода 3. Расход электроэнергии при прямом нагреве примерно в 2 раза меньше, чем при косвенном нагреве.

При прохождении электрического тока паяемое соединение нагревается до температуры плавления припоя, и расплавленный припой заполняет шов.

Контактную пайку проводят или на специальных установках, обеспечивающих питание током большой силы и малого напряжения, или на обычных машинах для контактной сварки.

Во всех установках ток подводят к паяемым заготовкам через электроды, которые изготавливают из меди, графита (например, электрографита марки ЭГ2) и сплавов (ЭИ437; Х3О; Х18Н25С; Х12М). При контактной пайке применяют твердые припои: медь, латуни, серебряные припои и т.д. В ряде случаев необходимо применять флюс (в основном буру или ее водный раствор).

**Пайка погружением в металлические ванны.** Расплавленный припой в ванне покрывают слоем флюса. Подготовленная к пайке заготовка погружается в расплавленный припой (металлическую ванну), который также является источником теплоты. Для металлических ванн обычно используют медно-цинковые и серебряные припои.

**Пайка погружением в соляные ванны.** Состав ванны выбирают в зависимости от температуры пайки, которая должна соответствовать рекомендуемой температуре ванны при работе на смеси определенного состава. Ванна состоит из хлористых солей натрия, калия, бария и др.

Данный метод не требует применения флюсов и защитной атмосферы, так как состав ванны подбирают таким, что он вполне обеспечивает растворение оксидов, очищает паяемые поверхности и защищает их от окисления при нагреве, т.е. является флюсом.

Заготовки подготавливают к пайке (на шов в нужных местах укладывают припой), после чего опускают в ванну с расплавленными солями, являющимися флюсом и источником теплоты, припой расплавляется и заполняет шов.

Чтобы припой хорошо заполнил швы (между соединяемыми заготовками), в соляные ванны добавляют 4...5 % буры, а также проводят раскисление ванны ферросилицием или ферромарганцем, которые вводят в ванну в количестве 1 % от массы соли. Для соляных ванн используют медные, медноцинковые, серебряные и другие припои, а для заготовок из алюминия — припой из силумина.

**Газоплазменная пайка.** Нагрев заготовок и расплавление припоя осуществляют пламенем газосварочных, плазменных горелок и паяльных ламп.

При пайке газосварочными горелками в качестве горючего газа используют смеси различных газообразных или жидких углеводородов (ацетилена, метана, паров керосина и т. д.) и водород, которые при сгорании в смеси с кислородом дают высокотемпературное пламя. При пайке крупных заготовок горючие газы и жидкости применяют в смеси с кислородом, при пайке мелких заготовок — в смеси с воздухом.

Пайку можно выполнять как горелками специального типа, дающими широкий факел, так и нормальными, сварочными.

При газовой пайке применяют как газообразные флюсы на основе метилбората, так и твердые флюсы — различные соли и их смеси (обычно в виде водных растворов).

**Плазменной горелкой,** обеспечивающей более высокую температуру нагрева, паяют тугоплавкие металлы — вольфрам, тантал, молибден, ниобий и т. д.

Направленным пламенем керосиновой *паяльной лампы* нагревают и заготовки, и паяльник, а также расплавляемый припой.

**Пайка паяльником.** Схемы обычного и ультразвукового лужения паяльниками показаны на рис. 5.19, *а* и *б*. Как видим, основной металл нагревают и припой расплавляют за счет теплоты, аккумулированной в массе металла паяльника, который перед пайкой или в процессе ее подогревают. Для низкотемпературной пайки применяют паяльники с периодическим нагревом, с непрерывным нагревом и ультразвуковые. Рабочую часть паяльника выполняют из красной меди. Паяльник с периодическим нагревом в процессе работы подогревают от постороннего источника теплоты. Паяльники с постоянным нагревом делают электрическими. Паяльники с периодическим и непрерывным нагревом чаще используют для флюсовой пайки черных и цветных металлов легкоплавкими припоями с температурой плавления ниже 300... 350 °С.

Ультразвуковые паяльники применяют для бесфлюсовой пайки на воздухе и пайке алюминия. Оксидные пленки разрушаются вследствие колебаний ультразвуковой частоты.

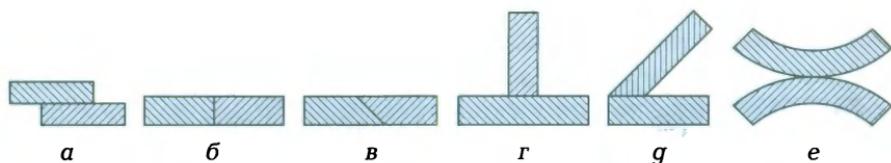


Рис. 5.21. Типы паяных соединений:

*а* — внахлестку; *б* — встык; *в* — вскос; *г* — втавр; *г* — в угол; *е* — соприкасающиеся

**Обработка деталей после пайки.** После окончания пайки и охлаждения паяного шва остатки флюсов необходимо удалять.

Если при пайке мягкими припоями используют бескислотные канифольевые флюсы, то остатки их неопасны в отношении коррозии и в доступных местах их удаляют механическим путем, обычно протирая паяные соединения хлопчатобумажным лоскутом, смоченным спиртом или другим растворителем.

Для удаления остатков флюсов, вызывающих коррозию паяного соединения, применяют промывку в горячей (обычно 50...80 °С) или холодной воде (в проточной или в ваннах); в 5%-ном растворе кальцинированной соды; бензине; в 1...3%-ном растворе натриевого (или калиевого) хромпика; также протирку мягкой тряпкой или бязью, смоченной спиртом, ацетоном и другими растворителями; пескоструйную обработку.

**Некоторые особенности конструирования узлов с паяными соединениями.** Типы паяных соединений показаны на рис. 5.21. Паяные швы отличаются от сварных швов по конструктивной форме и образованию. В отличие от выпуклого сварного шва (рис. 5.22, *а*) у паяного соединения (рис. 5.22, *б*) шов имеет вогнутую форму с очень плавными переходами от припоя к поверхности основного металла.

Зазор по всей ширине *b* нахлестки полностью заполнен припоем. Основной металл не оплавляется, геометрические формы кромок и поверхностей соединяемых заготовок сохраняются. Прочность паяного соединения почти не зависит от размеров галтелей<sup>1</sup> припоя, но сильно изменяется при изменении ширины нахлестки, которая обеспечит прочность паяного шва, равную или превосходящую предел прочности основного металла. Кроме того, сварка идет при последовательном наложении сначала верхнего шва, а затем нижнего, а в процессе пайки образование обеих галтелей и запол-

<sup>1</sup> **Галтель** — плавный переход от одной поверхности к другой (радиус закругления).

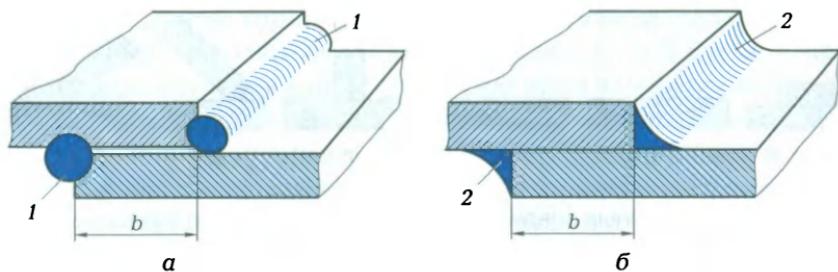


Рис. 5.22. Форма и элементы сварного (а) и паяного (б) швов при соединении внахлестку:

1 — сварной шов; 2 — паяный шов;  $b$  — ширина нахлестки

нение припоем зазора по ширине нахлестки  $b$  происходят почти мгновенно.

Тип паяного соединения выбирают с учетом эксплуатационных требований, предъявляемых к узлу, и технологичности узла в отношении пайки.

Наиболее распространенный вид соединения — это пайка внахлестку. В узлах, работающих при значительных нагрузках, где, кроме прочности шва, необходима герметичность, заготовки следует соединять только внахлестку. Швы внахлестку обеспечивают прочное соединение, удобны при выполнении и не требуют проведения подгоночных операций, как это имеет место при пайке встык или в ус.

Стыковые соединения обычно применяют для заготовок, которые нерационально изготавливать из целого куска металла, а также в тех случаях, когда нежелательно удваивать толщину металла. Их можно применять для малонагруженных узлов, где не требуется герметичность.

Качество и прочность пайки в значительной степени зависят от применяемого припоя. При выборе припоя необходимо учитывать следующие факторы: материал соединяемых заготовок, необходимую чистоту и прочность шва, последующую после пайки обработку (например, термообработку) и условия эксплуатации.

Наличие и величина зазоров между поверхностями заготовок, соединяемых пайкой, имеют решающее значение. При больших зазорах или при отсутствии их пайка невозможна. При проектировании паяных соединений величину зазоров необходимо выбирать с учетом материала заготовок и типа припоя.

Увеличение размера зазора между соединяемыми поверхностями обычно приводит к ухудшению всасывания жидкого припоя под действием капиллярных сил, к понижению прочности соединения

и к излишнему расходу припоя. Высокие требования в отношении величины зазора заставляют проводить достаточно чистую механическую обработку соединяемых поверхностей, что необходимо также для более плотного их прилегания друг к другу. Эти поверхности обрабатывают от  $Rz\ 40$  до  $Ra\ 2,5$  мкм, меньшая шероховатость ухудшает смачиваемость припоем соединяемых поверхностей.

## 5.16. СКЛЕИВАНИЕ

**Склеивание** — способ получения неразъемных соединений за счет образования адгезионной связи клеевой пленки, т. е. ее прилипания и поверхностного сцепления с поверхностями склеиваемых материалов.

**По природе основного компонента** различают клеи неорганические, органические и элементоорганические.

К **органическим клеям** относят композиции на основе природных и синтетических полимеров. Первые используют для склеивания древесины, бумаги, кожи, текстильных материалов и т. д., вторые — при склеивании металлов, стекла, керамики, пластмасс, древесины, текстильных, целлюлозных и других материалов.

**Элементоорганические клеи**, обладающие высокими термостойкостью и термостабильностью, используют для склеивания металлов, керамики, графита, термостойких пластмасс и др.

К общим **достоинствам** склеивания можно отнести:

- возможность соединить разнородные (металл и неметалл) материалы, чего нельзя сделать ни сваркой, ни пайкой;
- достаточно высокую прочность соединений, особенно работающих со статической нагрузкой;
- защиту шва от воздействия внешней среды, когда затвердевшая пленка клея защищает шов от воздействия внешней среды и, обладая диэлектрическими свойствами, препятствует возникновению контактной коррозии (если соединяемые детали изготовлены из различных металлов);
- герметичность соединения;
- не происходит увеличения массы конструкции;
- снижение трудоемкости выполнения соединения.

К **недостаткам** склеивания относятся:

- ограниченная прочность соединения, работающего с динамическими нагрузками;

- нестабильность механических и диэлектрических свойств затвердевшего клея во времени;
- большинство клеев плохо работает при повышенной температуре, а также при резком и значительном колебании температур;
- клеи многих марок токсичны и могут вызывать повреждения кожи или вредно действовать на дыхательные пути;
- некоторые клеи нельзя хранить, в связи с чем их необходимо использовать сразу же после приготовления, что не всегда удобно для производства.

**Технологический процесс склеивания** в некоторой степени зависит от конструкции и материала заготовок, марки клея и принципа затвердевания его, но наиболее характерный технологический процесс склеивания включает в себя следующие операции: подгонку поверхностей; очистку и обезжиривание; приготовление клея; нанесение клея; сборку соединяемых заготовок; выдержку; очистку шва; контроль.

**Подгонка поверхностей.** При склеивании заготовок шов обычно выполняют внахлестку или с подкладками. Это увеличивает площадь соприкосновения и тем самым повышает прочность соединения. Поверхности под склеивание должны плотно прилегать друг к другу, что позволит получить ровный тонкий слой клея, обладающий хорошим равномерным сцеплением с основным материалом. Для заготовок, изготовленных из металла и других жестких материалов, подгонка поверхностей проводится механической обработкой или рихтовкой. При механической обработке швов не следует добиваться высокого качества поверхности. Небольшая шероховатость  $Ra$  2,5...0,63 способствует повышению прочности соединения. Пескоструйная обработка в этом случае дает очень хорошие результаты, так как не только делает поверхность шероховатой, но и надежно очищает ее. Для эластичных материалов подгонка поверхностей не проводится.

**Очистка и обезжиривание поверхностей.** Очистка поверхности от грязи, окалины, масла и жира способствует лучшей смачиваемости поверхности клеем и повышает сцепление клея с основным материалом. Способ выполнения этой операции определяется главным образом свойствами материала соединяемых заготовок. Обезжиривание поверхностей проводится промывкой бензином, ацетоном и другими растворителями. Хорошие результаты дает травление поверхностей.

Выбор реактива для травления зависит от материала соединяемых заготовок: заготовки из низкоуглеродистой стали очищают в ванне с 25%-ным раствором фосфорной кислоты при  $t = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

заготовки из нержавеющей стали — в щелочных ваннах; алюминиевые заготовки — в растворе серной кислоты; медные и латунные — в азотной кислоте. После травления заготовки промывают в горячей воде.

Хорошие результаты при склеивании получаются, если на соединяемые металлические поверхности предварительно наносят покрытия (например, на стальные заготовки — цинкованием, на латунные — лужением; на алюминиевые — анодированием).

Резину подготавливают к склеиванию зачисткой наждачной шкуркой, металлическими щетками с последующей протиркой бензином.

Пластмассовые заготовки обезжиривают растворителями, выбор которых определяется маркой материала.

*Приготовление клея.* Поступающие на производство клеи или компоненты, из которых составляют клеевые композиции, должны быть проверены на годность по внешнему виду, склеивающей способности, вязкости, жизнеспособности. Готовые клеи и композиции, кроме того, проверяют на содержание сухого остатка. Эту работу выполняют в лабораторных условиях. При работе с клеями следует ознакомиться с сопроводительными документами, содержащими сведения о дате и времени приготовления и сроках хранения или времени жизнеспособности.

*Нанесение клея.* На подготовленную поверхность шва клей наносят различными способами. Выбор конкретного способа зависит от исходного состояния клея (жидкое, пастообразное, пленочное, порошкообразное), конструкции и материала соединяемых заготовок, степени автоматизации производства.

Жидкие клеи, имеющие преимущественное применение, наносят кистью, распылением, поливом или окунанием. Толщина слоя клея должна составлять 0,1...0,15 мм независимо от способа нанесения и количества слоев. Как правило, клей наносят в один или два слоя. После нанесения первого слоя заготовки подсушивают на воздухе для удаления из клея растворителей. На это затрачивается от 20 до 60 мин. Второй слой наносят аналогичным способом и также подсушивают на воздухе до отлипания.

*Сборка соединяемых заготовок.* После выдержки на воздухе, а в некоторых случаях после дополнительного подсушивания (в зависимости от применяемых клеев) при повышенных температурах (60...90 °С) заготовки, подлежащие соединению, собирают в специальных приспособлениях или с помощью винтовых прихватов. Склеиваемые поверхности должны быть прижаты друг к другу с определенным усилием, величина которого зависит прежде всего

от марки клея. Заниженное или завышенное усилие снижает прочность шва, так как нарушаются условия затвердевания. Завышенное усилие может привести к уменьшению оптимальной величины слоя клея или вообще выжать клей на отдельных участках поверхности. Заниженное давление может не компенсировать зазоры между заготовками, образовавшиеся в результате некачественной подгонки или коробления.

*Выдержка.* Процесс затвердевания клея происходит в результате улетучивания растворителя (*обратимый* клей) или полимеризации (*необратимый* клей). В соответствии с этим меняются режимы выдержки. Для большинства обратимых клеев температура выдержки должна быть нормальной, меняется лишь время выдержки. Для необратимых клеев, затвердевающих в результате полимеризации, требуются более строгие режимы выдержки по температуре, давлению и времени. Конкретные режимы определяются маркой клея и материалом склеиваемых заготовок. Некоторые клеи после выдержки при повышенной температуре и давлении дополнительно выдерживают в нормальных условиях (24... 48 ч) для стабилизации структуры клея.

*Очистка шва.* Остатки затвердевшего клея удаляют с поверхностей детали металлическими щетками, шаберами, наждачной бумагой или промывкой растворителями.

*Контроль.* Параметры и методы контроля определяются условиями работы деталей и техническими требованиями к соединению. В этой связи следует различать соединения, которые должны выдерживать определенные механические нагрузки, и соединения, скрепляющие ненагруженные заготовки.

Независимо от назначения все клеевые соединения подвергают внешнему осмотру.

Соединения, работающие с механическими нагрузками, проверяют на прочность при отрыве и при срезе. Соединения из эластичных материалов проверяют на разрыв, на срез и на усилие отдира, некоторые соединения — на герметичность (избыточным давлением, вакуумом или другими допустимыми методами).

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

---

1. Охарактеризуйте сущность дуговой сварки, ее разновидности.
2. Для выполнения каких швов применяют автоматическую сварку?
3. По каким схемам можно выполнять аргонодуговую сварку?

4. Как выполняют сварку в камерах?
5. Какие известны лучевые методы сварки, их особенности и различия?
6. Каким образом получают плазменную струю, каковы ее возможности?
7. Опишите разновидности контактной сварки и их особенности.
8. Перечислите виды конденсаторной сварки, их особенности и возможности.
9. Какие работы можно выполнять диффузионной и ультразвуковой сварками?
10. Назовите основные способы пайки, их принципиальные различия.
11. Перечислите основные требования к припоям и флюсам для пайки.
12. Из каких этапов состоит технологический процесс склеивания материалов, какое применяют оборудование и оснастку?

# ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О РЕЗАНИИ МАТЕРИАЛОВ

## 6.1. МЕТАЛЛОРЕЖУЩИЕ СТАНКИ И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ

---

*Обработкой металлов резанием* называют процесс снятия стружки с заготовки режущими инструментами в целях получения необходимой формы, точности размеров и качества поверхности, заданных чертежом детали.

Русский ученый-механик, скульптор А. К. Нартов в 1738 г. создал первый в мире токарно-винторезный станок с механизированным суппортом и набором сменных зубчатых колес.

Научное обоснование явлений, происходящих при резании металлов, было выполнено в России в 1869 г. проф. Петербургского горного института И. А. Тиме. Опубликованный им в 1870 г. труд «Сопrotивление металлов и дерева резанию», а затем в 1877 г. «Мемуар о строгании металлов» были переведены на французский и немецкий языки, и И. А. Тиме получил признание как основоположник науки о резании металлов. И. А. Тиме впервые научно объяснил процесс образования стружки и разъяснил другие вопросы, которые не утратили своего значения до настоящего времени.

В 1893 г. К. А. Зворыкин (1861 – 1928) теоретически определил положение плоскости скалывания, открытой И. А. Тиме. Он впервые применил гидравлический динамометр для определения усилия резания, впоследствии широко вошедший в практику экспериментальных исследований во всех странах мира. Им же установлена зависимость для определения усилия резания.

Мировую известность получили работы по исследованию процесса образования стружки, тепловых явлений процесса резания и образования нароста на режущем инструменте на основе многочисленных и об-

ширных опытов, выполненных Я. Г. Усачевым (1878 — 1941), который был мастером механических мастерских Петербургского политехнического института.

В дальнейшем трудами Т. М. Барсуковой, В. Ф. Боброва, А. Н. Гаврилова, Г. И. Грановского, В. П. Ефимова, Н. Н. Зорева, Л. П. Исаева, В. С. Камалова, В. А. Кривоухова, Т. Н. Лоладзе, В. М. Подураева, Э. А. Сателя, Г. Л. Хайта, А. А. Шатилова, В. Д. Шашурина и других ученых были созданы теоретические основы процесса резания и прогрессивных методов обработки материалов.

**Резание** — обработка материалов снятием стружки для придания изделию заданных формы, размеров и для обеспечения определенного технологией качества поверхности.

Резание материалов осуществляют с помощью режущего инструмента на станках или вручную. Большая часть сведений, приводимых далее, относится к резанию металлов, наиболее распространенному в машиностроении.

Оборудованием при резании являются **металлорежущие станки** — машины, предназначенные для обработки изделий в первую очередь снятием стружки режущим инструментом. Современные металлорежущие станки — это разнообразные и совершенные рабочие машины, использующие механические, электрические, электронные и гидравлические методы осуществления движений и управления рабочим циклом, решающие сложные технологические задачи.

В основу *классификации металлорежущих станков*, принятой в нашей стране, положен технологический метод обработки заготовок. Классификацию по этому методу проводят в соответствии с такими признаками, как вид режущего инструмента, характер обрабатываемых поверхностей и схема обработки. Станки подразделяют на токарные, сверлильные, шлифовальные, полировальные, доводочные, зубообрабатывающие, фрезерные, строгальные, разрезные, протяжные, резьбообрабатывающие и др.

Классификация по комплексу признаков наиболее полно отражается в общегосударственной Единой системе условных обозначений станков (табл. 6.1). Она построена по десятичной системе: все металлорежущие станки разделены на десять групп, группа — на десять типов, тип — на десять типоразмеров. В группе объединены станки по общности технологического метода обработки или близкие по назначению, например, сверлильные и расточные. Типы станков характеризуют такие признаки, как назначение, степень универсальности, число главных рабочих органов, конструктивные особенности. Внутри типа станки различают по техническим характеристикам.

Таблица 6.1. Классификация металлорежущих станков

Группа станков	Шифр группы	Шифр			
		0	1	2	3
Резервные	0	—	—	—	—
Токарные	1	Автоматы и полуавтоматы			Револьверные
		специализированные	одношпиндельные	многошпиндельные	
Сверильные и расточные	2	—	Вертикально-сверильные	Полуавтоматы	
				одношпиндельные	многошпиндельные
Шлифовальные и доводочные	3	—	Круглошлифовальные	Внутришлифовальные	Обдирочные шлифовальные
Комбинированные	4	—	—	—	—
Зубо- и резьбообрабатывающие	5	Резьбонарезные	Зубодолбежные для цилиндрических колес	Зуборезные для конических колес	Зубофрезерные
Фрезерные	6	—	Вертикальные консольные	Непрерывного действия	—
Строгальные, долбежные и протяжные	7	—	Продольно-строгальные		Поперечно-строгальные
			одностоечные	двухстоечные	
Разрезные	8	—	Разрезные, работающие		
			резцом	абразивным кругом	
Разные	9	—	Опиловочные	Пилонасекательные	Правильно- и бесцентрово-обдирочные

типа

4	5	6	7	8	9
—	—	—	—	—	—
Сверильно-отрезные	Карусельные	Токарные и лобовые	Многорезцовые	Специализированные	Разные токарные
Координатно-расточные	Радиально-сверильные	Горизонтально-расточные	Алмазно-расточные	Горизонтально-сверильные	Разные сверильные
Специализированные шлифовальные	—	Заточные	Плоскошлифовальные	Притирочные и полировочные	Разные, работающие абразивом
—	—	—	—	—	—
Для нарезания червячных колес	Для обработки торцов зубьев	Резьбофрезерные	Зубоотделочные и проверочные	Зубо- и резьбошлифовальные	Разные зубо- и резьбообрабатывающие
Копировальные и гравировальные	Вертикальные бесконсольные	Продольные	Консольные широкоуниверсальные	Горизонтальные	Разные фрезерные
Долбежные	Протяжные горизонтальные	—	Протяжные вертикальные	—	Разные строгальные
Правильно-отрезные	Пилы			—	—
	ленточные	ножовочные	дисковые		
Балансировочные	Для испытания сверл и шлифовальных кругов	Делительные машины	—	—	—

В соответствии с этой классификацией каждому станку присваивают определенный шифр. Первая цифра шифра определяет группу станков, вторая — тип, третья (иногда третья и четвертая) указывает на характерную техническую характеристику станка. Буква на втором или третьем месте позволяет различать станки одного типоразмера, но с разными техническими характеристиками. Буква в конце шифра указывает на различные модификации станков одной базовой модели. Например, модель 1К62 означает: 1 — станок относится к группе токарных станков; 6 — винторезный; 2 — высота центров (200 мм); К — модернизированный. В моделях 60Т80Г и 60Н80Г буквы Т и Н означают, что эти станки различных серий, а буква Г — что это горизонтально-фрезерные станки. Буква Ф в шифре указывает на то, что станок имеет числовое программное управление, а цифра и буквы за ней — какая система ЧПУ применена в станке. Например, модель станка 16К20Ф3С32 расшифровывается так: 1 — станок токарной группы; 6 — винторезный; К — модернизированный; 20 — высота центров над направляющими станины (200 мм); Ф — с числовым программным управлением; 3 — управление тремя координатными движениями; С32 — система ЧПУ.

Различают станки универсальные, широкого применения, специализированные и специальные. На *универсальных* станках выполняют разнообразные работы, используя заготовки многих наименований. Примерами таких станков могут быть токарно-винторезные, горизонтально-фрезерные, консольные. Станки *широкого применения* предназначены для выполнения определенных работ на заготовках многих наименований (многорезцовые, токарно-отрезные станки). *Специализированные* станки предназначены для обработки заготовок одного наименования, но разных размеров, например станки для обработки коленчатых валов. *Специальные* станки выполняют определенный вид работ на одной определенной заготовке.

По степени автоматизации различают станки с ручным управлением, полуавтоматы, автоматы и станки с программным управлением. По числу главных рабочих органов станки подразделяют на одношпиндельные, многошпиндельные, односуппортные, многосуппортные. При классификации по конструктивным признакам выделяются существенные конструктивные особенности, например вертикальные и горизонтальные токарные полуавтоматы. В классификации по точности установлено пять классов станков: Н — нормальной, П — повышенной, В — высокой, А — особо высокой точности и С — особо точные станки.

На металлорежущих станках обрабатывают также неметаллические материалы разных видов: пластмассы, стекла, керамики и др.

Инструмент для обработки заготовок (преимущественно из металла) снятием стружки — металлорежущий инструмент.

Металлорежущий инструмент должен иметь характерную геометрию (см., например, геометрию резца в подразд. 6.4) и обладать достаточной стойкостью в процессе обработки.

**Основные виды станочного металлорежущего инструмента** — это резцы, сверла, зенкеры, развертки, протяжки, прошивки, фрезы, зуборезные инструменты, резьбонарезные инструменты, абразивные инструменты.

Подробнее о различных видах станочных инструментов будет сказано в последующих разделах, где будут описаны различные методы обработки поверхностей заготовок (точение, сверление, фрезерование и др.).

К **ручному металлорежущему инструменту** относят зубила, напильники, ножовки, шаберы и др., а также различные ручные машины, снабженные собственным приводом (пневматическим, электрическим, гидравлическим и др.), управляемые оператором, полностью или частично поддерживающим их вес (дрели, пилы, ножницы, молотки).

Режущий инструмент подразделяют на лезвийный и абразивный.

**Лезвийный режущий инструмент** — это инструмент с заданным числом лезвий установленной формы. В основе геометрии каждого лезвия лежит клин.

**Абразивный инструмент** — инструмент для абразивной обработки металла, стекла, дерева и т. д. К абразивной обработке относят резание, шлифование, полирование и др. Абразивная обработка осуществляется множеством абразивных зерен (частиц абразивного материала в виде монокристалла, поликристалла или их осколков). Каждое зерно — это резец, причем режущей кромкой такого резца служит ребро зерна.

## МЕТОДЫ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН РЕЗАНИЕМ

Геометрическая форма любой поверхности может быть образована копированием или огибанием (обтеканием) сопряженной поверхностью, а также по методу следа и методу касания.

Геометрически каждая *деталь* представляет собой тело, ограниченное определенной совокупностью элементарных поверхностей (плоских, цилиндрических, конических и др.). Каждую из этих поверхностей можно представить как геометрическое место бесчисленного множества последовательных положений *линии*, называемой *образующей* (рис. 6.1), каждая точка которой перемещается вдоль других линий, называемых *направляющими*. Эти две линии называют *производящими*.

Все формообразующие движения на металлорежущих станках принято называть *движениями резания*. То из них, которое совершается с наибольшей скоростью, называют *главным движением резания* (на схемах обработки обозначается  $D_r$ ). Все остальные, выполняемые с меньшей скоростью, называют *движениями подачи* ( $D_s$ ). Эти движения при различных схемах резания обеспечива-

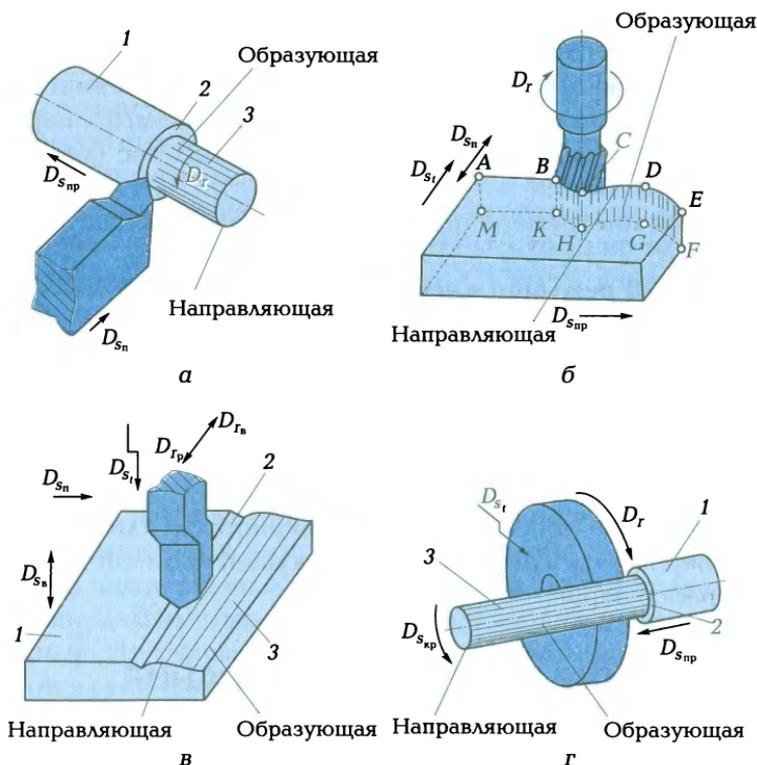


Рис. 6.1. Методы обработки поверхностей заготовок резанием: а — точение; б — фрезерование; в — строгание; г — шлифование: 1 — обрабатываемая поверхность АВКМ; 2 — поверхность резания ВСНК; 3 — обработанная поверхность CDEFGH

ют постепенное снятие стружки (резание) и удаление припуска; определяют толщину среза (срезаемого слоя).

Подачи бывают продольные ( $D_{s_{np}}$ ), поперечные ( $D_{s_n}$ ), круговые ( $D_{s_{кр}}$ ), вертикальные ( $D_{s_{в}}$ ), горизонтальные ( $D_{s_r}$ ), радиальные ( $D_{s_p}$ ), тангенциальные ( $D_{s_t}$ ), установочные ( $D_{s_y}$ ), на врезание ( $D_{s_i}$ ) и т. д.

Движения подачи являются либо прямолинейными, либо вращательными и сообщаются режущему инструменту или заготовке. Скорости главного рабочего движения и движения подачи обозначают соответственно  $v$  и  $s$ .

Движения резания — составная часть совокупности исполнительных движений, осуществляемых на станке. Все исполнительные движения станка можно разделить по назначению: формообразующие; установочные, обеспечивающие получение поверхностей требуемого размера (например, врезание); делительные, обеспечивающие равномерное расположение на заготовке поверхностей одинакового профиля; вспомогательные, обеспечивающие установку, зажим, транспортирование и правку инструмента; движения управления, совершаемые органами управления, регулирования и координирования.

Установочное и делительные движения могут быть частично или полностью совмещены с движениями формообразования.

На обрабатываемой заготовке различают *обрабатываемую поверхность*, которая будет удалена в процессе обработки (поверхности 1 на рис. 6.1, *a, в, г* и поверхность *ABKM* на рис. 6.1, *б*); *поверхность резания*, образуемую на обрабатываемой заготовке режущей кромкой (поверхности 2 на рис. 6.1, *a, в, г* и поверхность *ВСНК* на рис. 6.1, *б*), и являющуюся переходной между обрабатываемой и обработанной поверхностями; *обработанную поверхность*, полученную после снятия стружки (поверхности 3 на рис. 6.1, *a, в, г* и поверхность *CDEFGH* на рис. 6.1, *б*). Требуемый контур заготовки получают в результате сочетания определенных движений инструмента и заготовки.

Классификация методов обработки поверхностей заготовок резанием учитывает кинематические признаки (по принципу сочетания движений заготовки и инструмента) и признаки, определяющие сущность данного метода обработки — условия процесса стружкообразования (физические особенности процесса резания). В соответствии с этим принципом все *методы обработки резанием* подразделяют на четыре группы: точение, фрезерование, строгание и шлифование.

Методы обработки различных групп могут осуществляться при одних и тех же сочетаниях прямолинейных и вращательных дви-

жений. Отличительным признаком каждой группы являются вид и направление главного движения или движения резания, в процессе которого происходит срезание припуска.

**Главное движение, определяющее скорость резания**, является либо вращательным, либо прямолинейным. Оно сообщается заготовке или режущему инструменту, а в ряде случаев одновременно заготовке и режущему инструменту.

**При точении** (см. рис. 6.1, а) главным является движение по направляющей обрабатываемой поверхности. При точении наружных и внутренних поверхностей вращения главное движение — это вращение вокруг оси заготовки.

**При фрезеровании** (см. рис. 6.1, б) траектория главного движения не совпадает с обрабатываемой поверхностью. Главное движение при фрезеровании — вращение вокруг оси инструмента (фрезы).

**При строгании** (см. рис. 6.1, в) главным будет прямолинейное движение вдоль образующей или по касательной к направляющей обрабатываемой поверхности.

**При шлифовании** (см. рис. 6.1, г) главное движение — это вращение шлифовального круга вокруг оси. Методы шлифования характеризуются специфическими особенностями работы абразивного инструмента.

Направление главного движения определяет характер протекания процесса обработки. Методы точения характеризуются непрерывностью процесса резания при обработке непрерывных поверхностей. Методы фрезерования характеризуются прерывистостью процесса резания с образованием стружки, толщина которой меняется от нуля до некоторой максимальной величины и наоборот.

Строгание — промежуточный процесс между точением и фрезерованием. Строгание можно рассматривать как частный случай точения с постоянной толщиной среза, но с перерывами в работе при обработке поверхностей вращения и плоскостей, когда главное движение направлено вдоль образующей. Строгание — частный случай фрезерования при обработке поверхностей вращения и винтовых поверхностей, когда главное движение направлено по касательной к направляющей.

Тип применяемого станка и тип инструмента не определяет сущности метода обработки. Так, плоской протяжкой можно осуществлять продольное строгание, как частный случай точения (плоскостей), тангенциальное точение (поверхностей вращения) и поперечное строгание, как частный случай фрезерования (поверхностей вращения и резьбы) и т. д.

При выборе метода обработки нужно исходить из требований точности и качества обработанной поверхности и себестоимости обработки. Кинематический анализ движений инструмента и заготовки позволяет сопоставить различные методы и правильно выбрать необходимый метод обработки.

## 6.4. ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И ГЕОМЕТРИЯ РАБОЧЕЙ ЧАСТИ ИНСТРУМЕНТА

Режущий инструмент состоит из рабочей  $I$  и присоединительной (державки)  $II$  частей (рис. 6.2, а).

**Основными элементами рабочей части инструмента** являются *передняя поверхность*  $ABCDV_1$ , по которой сходит стружка; *задняя поверхность*  $ABEF$ , обращенная к обрабатываемой заготовке; *режущая кромка*  $AB$ , образованная пересечением передней и задней поверхностей. Взаимное расположение этих элементов образует клинообразную форму (лезвие) режущей части инструмента в сечении, нормальном к его режущей кромке.

В зависимости от конструкции и назначения инструменты могут иметь одну или несколько передних и задних поверхностей и режущих кромок. Режущие кромки у инструментов бывают главные  $AB$ , вспомогательные  $AB_1$  и переходные. Задние поверхности у инструментов также бывают главные  $ABEF$ , вспомогательные  $AB_1E_1F$  и переходные.

Рассмотрим **геометрические параметры рабочей части инструмента**. Для определения углов заточки резца устанавливают четыре координатные плоскости (рис. 6.2, б, в): плоскость резания  $P_{\text{pc}}$  и основная плоскость  $P_{\text{vc}}$ , главная и вспомогательная секущие плоскости  $P_{\text{тс}}$  и  $P_{\text{тс1}}$ .

*Плоскость резания*  $P_{\text{pc}}$  — плоскость, касательная к поверхности резания и проходящая через прямолинейную главную режущую кромку или для резцов с криволинейной режущей кромкой линейчатая поверхность, образованная движением вдоль режущей кромки прямой линии, касательной к поверхности резания.

*Основная плоскость*  $P_{\text{vc}}$  — плоскость, параллельная продольной и поперечной подачам резца.

Далее будут приведены определения *статических* углов резца (в отличие от *динамических* углов, которые имеют место у инструмента в процессе резания). Статические углы имеют место в случае, когда резец установлен своей вершиной на высоте оси вращения

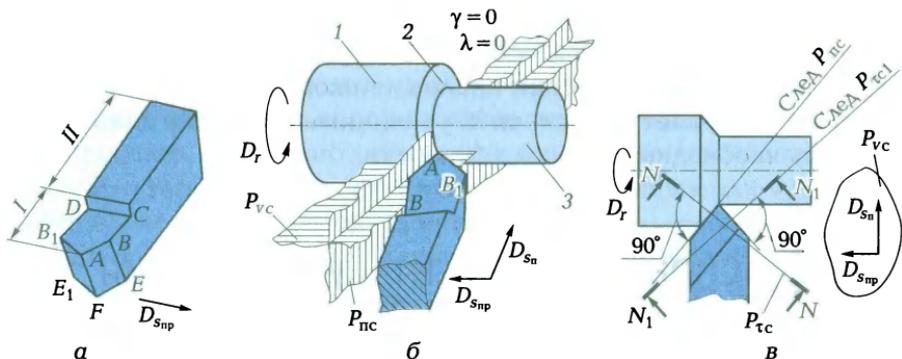


Рис. 6.2. Основные элементы токарного проходного прямого реза (а), координатные плоскости (основная  $P_{vc}$  и резания  $P_{nc}$ ) и поверхности на заготовке (б), координатные основная, резания, главная и вспомогательная секущие плоскости соответственно  $P_{vc}$ ,  $P_{nc}$ ,  $P_{tc}$ ,  $P_{tc1}$  (в):

1 — обрабатываемая поверхность; 2 — поверхность резания; 3 — обработанная поверхность; I — рабочая часть — головка реза; II — присоединительная часть, державка, тело реза; ABCDB<sub>1</sub> — передняя поверхность; ABEF и AB<sub>1</sub>E<sub>1</sub>F — задние поверхности; AB — режущая кромка; D<sub>спр</sub> и D<sub>сн</sub> — направления соответственно продольной и поперечной подачи; D<sub>r</sub> — главное движение — вращение заготовки со скоростью v

обрабатываемой заготовки с расположением геометрической оси стержня реза перпендикулярно оси вращения заготовки (но заготовка не вращается).

Главные углы реза измеряют в главной секущей плоскости  $P_{tc}$ , перпендикулярной к проекции главной режущей кромки на основную плоскость (рис. 6.3).

Главный задний угол  $\alpha$  — это угол между касательной к главной задней поверхности реза и плоскостью резания.

Главным передним углом  $\gamma$  называют угол между передней поверхностью реза и плоскостью, перпендикулярной к плоскости резания, проходящей через главную режущую кромку.

Угол заострения  $\beta$  — это угол между передней и главной задней поверхностями реза.

Углом резания  $\delta$  называют угол между передней поверхностью реза и плоскостью резания.

Вспомогательные углы реза измеряют во вспомогательной секущей плоскости  $P_{tc1}$ , перпендикулярной проекции вспомогательной режущей кромки на основную плоскость.

Вспомогательным задним углом  $\alpha_1$  называют угол между вспомогательной задней поверхностью и плоскостью, проходящей через

вспомогательную режущую кромку перпендикулярно основной плоскости.

На виде в плане (сверху) измеряют углы заточки резца  $\varphi$ ,  $\varphi_1$  и  $\varepsilon$ .

Главным углом в плане  $\varphi$  называют угол между проекцией главной режущей кромки на основную плоскость и направлением подачи.

Вспомогательный угол в плане  $\varphi_1$  — это угол между проекцией вспомогательной режущей кромки на основную плоскость и направлением, противоположным подаче.

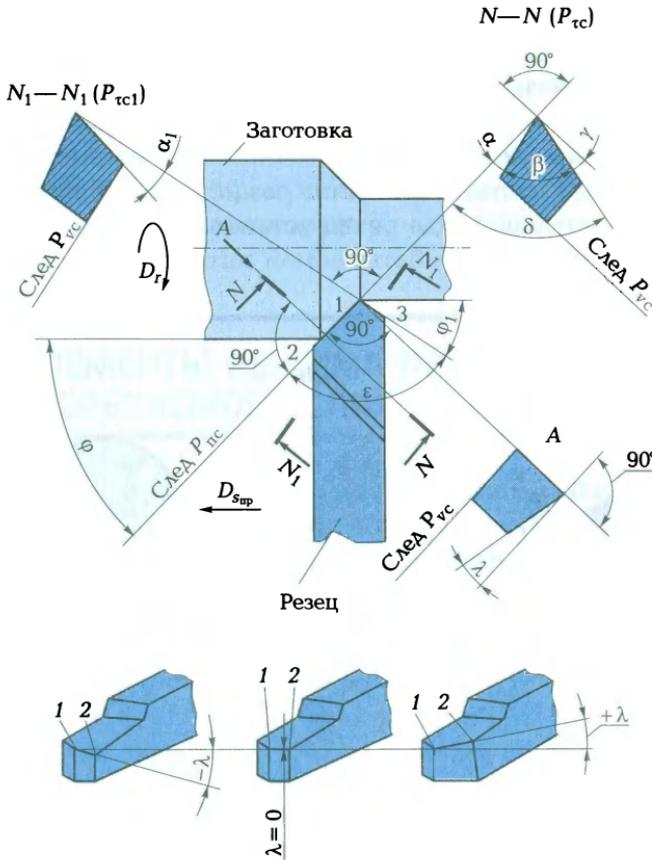


Рис. 6.3. Геометрия режущей части резца:

1 — вершина резца; 1-2 и 1-3 — главная и вспомогательная режущие кромки соответственно;  $\alpha$  — главный задний угол;  $\beta$  — угол заострения;  $\gamma$  — передний угол;  $\delta$  — угол резания;  $\alpha_1$  — вспомогательный задний угол;  $\varphi$  и  $\varphi_1$  — главный и вспомогательный углы в плане соответственно;  $\varepsilon$  — угол при вершине;  $\lambda$  — угол наклона главной режущей кромки; остальные обозначения см. на рис. 6.2, в

Угол при вершине  $\varepsilon$  — угол между проекциями главной и вспомогательной режущих кромок на плоскость  $P_{vc}$ .

На виде А на главную заднюю поверхность измеряют угол  $\lambda$  — угол наклона главной режущей кромки. Это угол, заключенный между режущей кромкой и линией, проведенной через вершину резца параллельно основной плоскости, который может быть равен нулю, иметь отрицательное или положительное значение в зависимости от расположения главной режущей кромки 1–2 относительно основной плоскости  $P_{vc}$ .

Этот угол измеряют в плоскости, проходящей через главную режущую кромку перпендикулярно основной плоскости. Этот угол считается положительным, когда вершина резца занимает наинижнее положение среди точек главной режущей кромки относительно основной плоскости; отрицательным, когда вершина резца занимает наивысшее положение; нулевым, когда главная режущая кромка параллельна основной плоскости.

Определения статических углов резца, которые приведены ранее, даны для случая, когда резец установлен своей вершиной на высоте оси вращения обрабатываемой заготовки с расположением

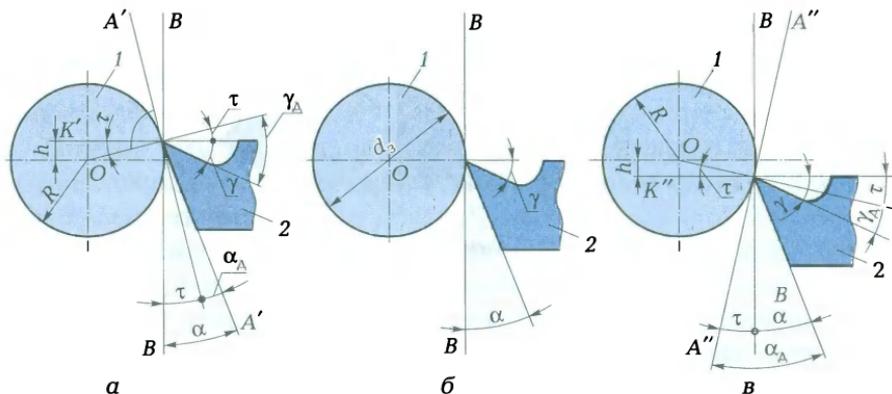


Рис. 6.4. Углы заточки в зависимости от установки вершины резца по отношению к оси  $O$  обрабатываемой заготовки:

$a$  — выше оси обрабатываемой заготовки;  $b$  — на уровне оси обрабатываемой заготовки;  $v$  — ниже оси обрабатываемой заготовки; 1 — заготовка; 2 — резец;  $A'A'$  — след  $P_{nc}$ ;  $A''A''$  — след  $P_{nc}$ ;  $BB$  — след плоскости  $P_{nc}$  при установке вершины резца на уровне оси обрабатываемой заготовки;  $K', K''$  — точки, через которые проходят горизонтальные плоскости, касающиеся вершины резца;  $\tau$  — угол, на который отличаются статические значения углов  $\alpha$  и  $\gamma$  от их действительных значений  $\alpha_A$  и  $\gamma_A$ ;  $R$  и  $d_3$  — соответственно радиус и диаметр обработанной поверхности заготовки;  $h$  — величина смещения вершины резца по отношению к оси  $O$  заготовки

геометрической оси стержня резца перпендикулярно оси вращения заготовки.

Изменение условий установки приводит к изменению величины углов. Так, при наружной обточке установка вершины резца выше оси вращения обрабатываемой заготовки приводит к уменьшению заднего угла  $\alpha$  и к увеличению переднего угла  $\gamma$ , установка вершины резца ниже оси вращения обрабатываемой заготовки приводит к увеличению заднего угла  $\alpha$  и к уменьшению переднего угла  $\gamma$  (рис. 6.4).

В этом случае действительные статические углы  $\alpha_A$  и  $\gamma_A$  определяют по формулам  $\alpha_A = \alpha \mp \tau$ ;  $\gamma_A = \gamma \pm \tau$ .

Действительные углы резания в движении (кинематические углы резания) меняются в зависимости от величины и направления векторов скорости и подачи, от положения резца относительно обрабатываемой заготовки в процессе резания.

При внутренней обточке установка вершины резца ниже оси вращения обрабатываемой заготовки приводит к обратному характеру изменения заднего и переднего угла по сравнению с наружной обточкой.

## 6.5. ЭЛЕМЕНТЫ РЕЖИМА РЕЗАНИЯ И СРЕЗАЕМОГО СЛОЯ

Элементами режима резания при токарной обработке являются скорость резания  $v$ , подача  $s$  и глубина резания  $t$ .

**Скорость резания**  $v$ , м/с, — путь перемещения точки режущей кромки относительно поверхности резания в единицу времени, т. е.

$$v = \frac{\pi n d}{1\,000 \cdot 60},$$

где  $d$  — диаметр обрабатываемой поверхности, мм;  $n$  — частота вращения заготовки, об/мин.

**Подача**  $s$ , мм, — величина перемещения резца относительно обработанной поверхности за один оборот при точении или за один рабочий ход при строгании и долблении.

При точении различают продольную подачу  $s_{пр}$  вдоль линии центров станка, поперечную подачу  $s_{п}$  — перпендикулярно линии центров и наклонную подачу  $s_{н}$  — под углом к линии центров.

**Глубина резания**  $t$ , мм, — величина срезаемого слоя с поверхности заготовки за один проход. Глубина резания измеряется в направлении, перпендикулярном к обработанной поверхности. При наружной обточке глубина резания определяется по формуле

$$t = \frac{d_1 - d_2}{2},$$

где  $d_1$  — диаметр обрабатываемой поверхности, мм;  $d_2$  — диаметр обработанной поверхности, мм.

Параметрами поперечного сечения срезаемого слоя являются толщина  $a$  и ширина  $b$ . На рис. 6.5 показано два последовательных положения режущих кромок резца при наружной обточке за один оборот заготовки.

**Толщина срезаемого слоя**  $a$ , мм, — расстояние между двумя последовательными положениями поверхности резания за один оборот или один рабочий ход изделия или инструмента, измеренное в направлении, перпендикулярном к главной режущей кромке.

**Ширина срезаемого слоя**  $b$ , мм, — расстояние между обрабатываемой и обработанной поверхностями, измеренное по поверхности резания.

Номинальное сечение срезаемого слоя  $f$  измеряют в плоскости, перпендикулярной к вектору скорости резания.

Площадь  $f$  номинального сечения срезаемого слоя, ограниченная контуром  $ABCD$ ,  $f = s_{пр} t = ab$ , мм<sup>2</sup>.

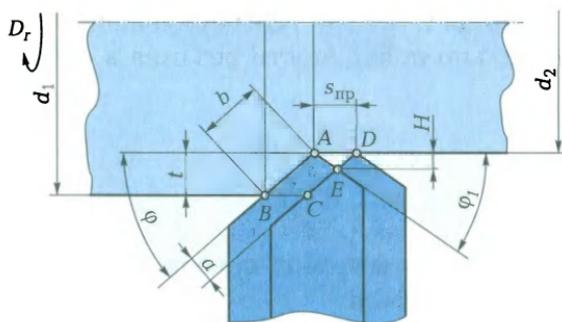


Рис. 6.5. Элементы срезаемого слоя и остаточное сечение срезаемого слоя:

$d_1$ ,  $d_2$  — соответственно диаметр обрабатываемой и обработанной поверхностей;  $a$ ,  $b$  — соответственно толщина и ширина срезаемого слоя;  $t$  — глубина резания;  $ABCD$  — номинальное сечение срезаемого слоя;  $AED$  — остаточное сечение срезаемого слоя;  $H$  — высота  $AED$ ; остальные обозначения см. на рис. 6.2, 6.3

Площадь  $f_A$  действительного сечения срезаемого слоя, ограниченная контуром  $ABCE$ , меньше номинального на величину площади  $\Delta f$  остаточного сечения срезаемого слоя, ограниченного контуром  $AED$ ,  $f_A = f - \Delta f$ .

Площадь остаточного сечения  $\Delta f$  обычно составляет менее 2% от площади  $f$ .

В практических расчетах под площадью срезаемого слоя подразумевается его номинальная величина  $f$ . Высота  $H$  гребешков остаточного сечения срезаемого слоя  $AED$  во многом определяет шероховатость обработанной поверхности: чем меньше  $H$ , тем меньше шероховатость обработанной поверхности.

Высота  $H$  гребешков остаточного сечения срезаемого слоя зависит от геометрических параметров резца: главного и вспомогательного углов в плане  $\phi$  и  $\phi_1$ , радиуса закругления вершины резца  $r$ , подачи  $s_{пр}$ .

С увеличением  $\phi$  и  $\phi_1$  и подачи  $s_{пр}$  высота гребешков  $H$  увеличивается, с увеличением  $r$  высота  $H$  уменьшается. Для получения поверхностей более высоких классов чистоты необходимо назначать (по возможности) малые углы в плане  $\phi$  и  $\phi_1$ , большой радиус  $r$ , меньшие величины подачи  $s_{пр}$ .

## 6.6. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ

Процесс резания представляет собой упругопластическое деформирование, а иногда и разрушение срезаемого слоя. Резание сопровождается теплообразованием, наростообразованием, упрочнением, износом режущего инструмента.

Образуемая при резании стружка в зависимости от условий обработки может быть элементная, скальвания, сливная при обработке пластичных материалов (стали). При обработке хрупких материалов (чугун, бронза) образуется стружка надлома.

**Элементная стружка** состоит из отдельных элементов, не связанных друг с другом, и образуется при обработке с низкими скоростями резания твердых и малопластичных материалов.

**Стружка скальвания** образуется при обработке пластичных материалов со средними скоростями резания, большими толщинами срезаемого слоя и малыми передними углами. Сторона стружки, контактирующая с передней поверхностью резца, — гладкая, а противоположная ей сторона имеет ярко выраженные зазубрины отдельных прочно связанных элементов стружки.

**Сливная стружка** получается в виде ленты без зазубрин, образуется при обработке пластичных материалов с более высокими скоростями резания, с большими передними углами и меньшей толщиной срезаемого слоя, чем при образовании стружки скалывания.

**Стружка наглома** состоит из отдельных элементов неопределенной формы, не связанных между собой.

На рис. 6.6, а приводится схема образования стружки скалывания. Русский ученый И. А. Тиме (1838—1920) считал, что скалывание отдельных деформированных элементов происходит по направлению расположения *плоскости скалывания*  $OO$ . Угол  $\psi$  носит название *угла скалывания*. Величина угла  $\psi$  равна  $145 \dots 155^\circ$  и зависит от свойств обрабатываемого материала, скорости резания, толщины срезаемого слоя  $a$  и угла резания  $\delta$ .

Последующие исследования показали, что стружка скалывания ломается не по плоскости  $OO$ , а по плоскости  $O_1O_1$ , расположенной под углом  $\theta$ , равным  $20 \dots 30^\circ$ , к плоскости скалывания. Плоскость  $O_1O_1$  называют *плоскостью сдвига*.

Сливная стружка не имеет плоскостей скалывания, и пластическая деформация происходит в направлении плоскостей сдвига.

*Величина усадки стружки* — это мера степени пластической деформации срезанного слоя (рис. 6.6, б).

Величина усадки стружки определяется коэффициентом усадки

$$k = L_0/L,$$

где  $L_0$  — длина срезанного слоя;  $L$  — длина стружки.

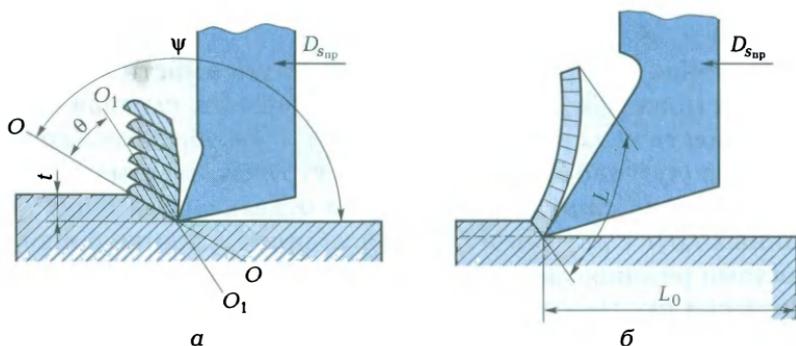


Рис. 6.6. Схемы деформации (а) и усадки (б) стружки:

$OO$  — плоскость скалывания;  $O_1O_1$  — плоскость сдвига;  $\psi$  — угол скалывания;  $\theta$  — угол сдвига;  $L_0$  — длина срезанного слоя;  $L$  — длина стружки (остальные обозначения см. на рис. 6.2, 6.5)

Деформация срезаемого слоя и формообразование новой поверхности происходят под действием силы резания, зависящей от глубины резания  $t$ , подачи  $s$ , свойств обрабатываемого материала, геометрических параметров режущей части инструмента, степени его износа и других условий обработки.

Силы резания определяют по экспериментальным формулам, которые приводят в соответствующих разделах работ о каждом методе обработки.

*Работа, затрачиваемая на резание* (срезание припуска на обработку), по предложению проф. В. Д. Кузнецова, определяется уравнением

$$A = A_{\text{пл}} + A_{\text{упр}} + A_{\text{тр}} + A_{\text{дисп}}$$

где  $A_{\text{пл}}$ ,  $A_{\text{упр}}$ ,  $A_{\text{тр}}$ ,  $A_{\text{дисп}}$  — соответственно работа, затраченная на пластическую деформацию, на упругую деформацию, на преодоление трения по передней и задней поверхности инструмента, на диспергирование, т. е. на образование новых поверхностей.

При обработке пластичных металлов и сплавов основными составляющими работы  $A$  являются  $A_{\text{пл}}$  и  $A_{\text{тр}}$ , а при обработке малопластичных металлов и сплавов основными составляющими работы  $A$  являются  $A_{\text{упр}}$  и  $A_{\text{тр}}$ . Работа, связанная с диспергированием  $A_{\text{дисп}}$ , крайне незначительна и ею можно пренебречь. Все составляющие работы в конечном итоге полностью переходят в теплоту.

**Наростообразование при резании металлов.** Нарост — застойная зона сильно сдеформированного обрабатываемого металла на передней поверхности инструмента. По структуре нарост отличен от обрабатываемого металла и имеет значительную твердость, что позволяет ему срезать слой металла.

Сильно сдеформированные вытянутые наслоения нароста образуют клиновидную форму. Нарост не является стабильным во времени: он периодически разрушается (иногда до 200 раз в секунду) под действием сил трения между стружкой и наростом и сил трения в месте контакта нароста с поверхностью резания. Разрушение и восстановление нароста приводит к изменению геометрии (рис. 6.7, а) режущей части инструмента (угол резания  $\delta_n$  при наросте меньше угла резания  $\delta$ , созданного заточкой).

Нарост защищает переднюю поверхность от износа, но значительно снижает качество обработанной поверхности. Периодически внедряясь в обрабатываемый металл за пределы линии среза, нарост увеличивает глубину резания со значения  $t_1$  до  $t_2$  (рис. 6.7, б), создавая значительную шероховатость поверхности и изменяя действительный размер обработанной поверхности.

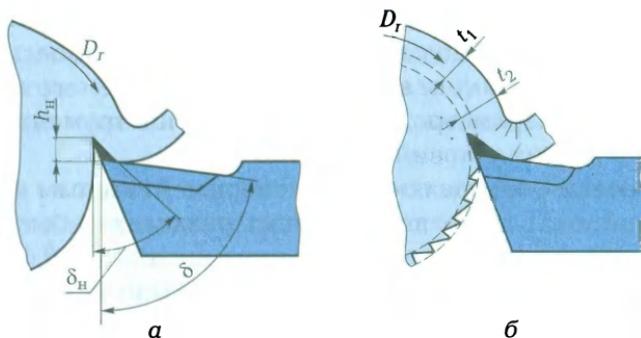


Рис. 6.7. Схема наростообразования:

*a* — изменение геометрии режущей части резца:  $\delta$  и  $\delta_n$  — статические значения углов резания соответственно без нароста и с наростом;  $h_n$  — высота нароста; *б* — изменение глубины резания при разрушении нароста:  $t_1$  и  $t_2$  — глубина резания соответственно без нароста и с наростом;  $D_r$  — главное движение

При точении шероховатость от нароста в направлении скорости резания при скоростях  $v = 10 \dots 30$  м/мин ( $0,17 \dots 0,5$  м/с) во много раз больше шероховатости остаточных гребешков (в направлении подачи). Неодинаковая степень упрочнения обработанного поверхностного слоя заготовки приводит к появлению остаточных напряжений после обработки.

Наростообразование допускается при черновой обработке, а при чистовой оно вредно. Чистовую обработку необходимо проводить при малых скоростях резания  $2 \dots 5$  м/мин ( $0,03 \dots 0,08$  м/с) или при скоростях больше  $90 \dots 100$  м/мин ( $1,5 \dots 1,67$  м/с), когда нарост практически отсутствует. Наростообразование уменьшается при повышении твердости обрабатываемого металла, увеличении переднего угла, применении смазочно-охлаждающих веществ и более тщательной доводке передней поверхности инструмента.

**Смазочно-охлаждающие вещества, их влияние на процесс резания.** При резании металлов смазочно-охлаждающие вещества (СОВ) уменьшают трение между резцом и сходящей стружкой, резцом и заготовкой, оказывая смазочное действие, снижают работу, затраченную на пластическое деформирование металла, отводят теплоту из зоны резания, охлаждая инструмент и заготовку, препятствуют появлению налипов на трущихся рабочих поверхностях инструмента. Это приводит к уменьшению силы резания, улучшению качества обработанной поверхности, увеличению стойкости инструмента.

В качестве СОВ применяют смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ), газообразные вещества и твердые вещества.

### **Основные типы СОЖ:**

- водные растворы хозяйственного мыла (2...5%), эмульсии (смеси воды и минерального масла); в эмульсии добавляют поверхностно-активные вещества (ПАВ), которые оказывают диспергирующие действия, в качестве ПАВ используют мыло, спирт, кислоты;
- минеральные, растительные, животные масла. К минеральным маслам добавляют для уменьшения коэффициента трения фосфор, хлор, серу: получают сульфофрезол;
- керосин и растворы в нем ПАВ;
- масла и эмульсии в смеси с твердыми смазочными материалами (графитом, парафином, воском).

Из СОЖ широко применяют эмульсии (охлаждающее действие) и сульфофрезолы, оказывающие, в основном, смазывающие действия.

В качестве **газообразных СОВ** применяют газы (углекислый газ, азот и другие газы), пары ПАВ, пену (смесь масла с воздухом), распыленные жидкости (применяются широко).

В качестве **твердых СОВ** используют порошки и брикеты парафина, воска, мыла.

Жидкие и газообразные СОВ подводят к зоне резания четырьмя способами (рис. 6.8):

- свободным поливом или струей под давлением на переднюю поверхность и стружку;
- свободным поливом или струей под давлением на заднюю поверхность резца; это самый распространенный и перспективный способ;
- по каналу с выводом в зону резания через переднюю поверхность, при этом способе жидкость или газ используют также для удаления стружки из зоны резания, особенно эффективно это при глубоком сверлении;
- по каналу без вывода в зону резания: при этом способе повышается культура производства, нет опасности загрязнения рабочего места и заражения газом.

Из рассмотренных ранее способов в основном применяют первый способ, однако наиболее перспективен второй с применением распыленной жидкости (тумана). Охлаждение распыленной жидкостью весьма экономично: расход СОВ в этом случае в 10 раз меньше, чем при первом способе.

Смазочно-охлаждающие вещества выбирают по справочникам в зависимости от обрабатываемого материала, материалов режущего инструмента и метода обработки.

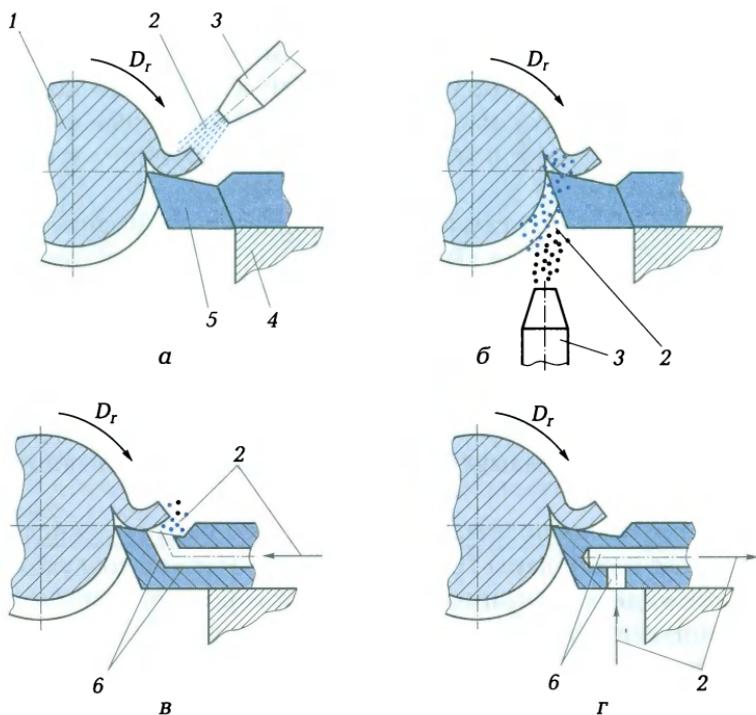


Рис. 6.8. Способы подвода жидких и газообразных смазочно-охлаждающих веществ к зоне резания:

*а, б* — свободным поливом или струей соответственно на переднюю и на заднюю поверхности; *в, г* — по каналу в инструменте соответственно через переднюю поверхность и без вывода в зону резания: 1 — заготовка; 2 — струя СОВ; 3 — сопло; 4 — резцедержатель; 5 — резец; 6 — канал в инструменте;  $D_r$  — главное движение

Чугун, бронзу обрабатывают без применения СОВ. При резании алмазным и эльборовым инструментом СОВ или СОЖ часто не применяют, а если и применяют, то обращают особое внимание на непрерывность охлаждающей струи.

**Износ режущих инструментов.** В процессе резания под действием сил трения (сходящей стружки о переднюю поверхность резца и поверхности резания о заднюю поверхность) инструменты изнашиваются: образуются площадки износа на контактных поверхностях инструмента.

На характер износа инструментов оказывают влияние физико-механические свойства обрабатываемого материала и материала инструмента, качество заточки режущей части инструмента, параметры режима резания, жесткость технологической системы

станок — приспособление — инструмент — деталь (СПИД), состав СОВ и т. д.

Износ (рис. 6.9) может наблюдаться только по задней грани при толщине срезаемого слоя  $a < 0,15$  мм и применении СОВ (инструменты — чистовые резцы, резьбовой инструмент, развертки, протяжки, зуборезный инструмент, торцовые фрезерные головки, работающие с малыми толщинами срезаемого слоя). Износ только на передних поверхностях происходит при снятии срезаемого слоя большей толщины ( $a > 0,5$  мм) с большими скоростями резания без применения охлаждающей жидкости (инструменты — обдирочные резцы, торцовые фрезерные головки).

Износ по задним и передним поверхностям инструментов наблюдается при толщинах срезаемого слоя  $a > 0,1$  мм и работе со средними скоростями резания с применением СОВ (резцы и торцовые фрезерные головки, метчики, плашки, сверла, зенкеры, зуборезный инструмент, протяжки).

За основной критерий износа принимают ширину изношенной площадки по задней грани  $h_3$ .

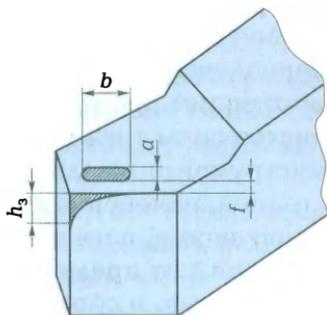
*Допустимой величиной износа* называют такую величину ширины площадки  $h_3$ , при которой дальнейшая работа инструмента должна быть прекращена вследствие резкого возрастания усилия резания или недостаточного качества обработанной поверхности.

**Стойкость режущих инструментов.** Под стойкостью инструментов понимается суммарное время в минутах непосредственной работы (резания) инструмента от переточки до переточки.

На стойкость инструмента оказывают влияние скорость резания, физико-механические свойства обрабатываемого материала и инструмента, глубина резания и подача, геометрические параметры режущей части инструмента, СОВ и т. д.

Рис. 6.9. Износ режущего инструмента:

$h_3$  — ширина изношенной площадки по задней поверхности;  $a$  и  $b$  — соответственно толщина и ширина изношенной поверхности на передней поверхности инструмента;  $f$  — расстояние изношенной поверхности от главной режущей кромки



Связь между стойкостью  $T$  и скоростью резания  $v$  выражается зависимостью

$$v = C/T^m,$$

где  $C$  — коэффициент, зависящий от материала инструмента и обрабатываемой заготовки, глубины резания, подачи и других факторов;  $m$  — показатель относительной стойкости, зависящий от материала обрабатываемой заготовки и инструмента, толщины среза, вида и условий обработки.

Для проходных, подрезных и расточных резцов из быстрорежущей стали  $m_{\text{ср}} = 0,125$  при обработке стали и чугуна; для резцов, оснащенных пластинами из твердого сплава,  $m = 0,125 \dots 0,3$  ( $m_{\text{ср}} = 0,2$ ).

Стойкость инструмента, соответствующая определенной величине износа в направлении измерения размера обрабатываемой поверхности: в радиальном — для резцов, сверл, разверток, протяжек и в осевом — для торцовых и концевых фрез, называется *размерной стойкостью инструмента*. Период стойкости инструмента особенно важен при обработке заготовок на автоматах и автоматических линиях.

**Вибрации, возникающие при резании материалов.** Вибрации (колебания в системе СПИД) ухудшают качество обработанной поверхности, увеличивают износ инструмента (особенно твердосплавного и минералокерамического), станка и приспособления.

Вибрации подразделяются на вынужденные колебания и автоколебания.

**Вынужденные колебания** возникают под действием периодически возмущающей силы. Причинами вынужденных колебаний могут быть неуравновешенность вращающихся частей станка, дефекты в передаточных звеньях станка, неуравновешенность вращающегося инструмента, неравномерный припуск под обработку и т. д.

**Автоколебания** возникают в системе при отсутствии внешней периодически возмущающей силы и поддерживаются самим происходящим процессом. Причины автоколебаний — это непостоянство силы трения сходящей стружки о переднюю поверхность инструмента и задней поверхности инструмента о поверхность резания, изменение сил резания за счет неравномерного наклепа (упрочнения) поверхностного слоя, непостоянство нароста, следы вибраций от предшествующего перехода, упругие деформации инструмента и обрабатываемой заготовки и т. д.

На интенсивность (амплитуду колебаний) автоколебаний оказывают влияние вид обрабатываемого материала и его твердость, элементы режима резания  $v$ ,  $s$ ,  $t$ , геометрические параметры режущей части инструмента, жесткость системы СПИД.

При увеличении твердости обрабатываемого материала вибрации уменьшаются. При увеличении скорости резания вибрации сначала возрастают, а затем уменьшаются. С увеличением глубины резания вибрации возрастают.

Уменьшение главного и вспомогательного углов в плане ( $\varphi$  и  $\varphi_1$ ) вызывает возрастание интенсивности вибраций. Износ резцов по задней поверхности усиливает вибрации.

Для уменьшения вибраций необходимо увеличивать жесткость системы СПИД, применять устройства, препятствующие возникновению вибраций, выполнять специальные заточки на режущей части инструмента, применять смазочно-охлаждающие вещества, амортизаторы к станкам и т. д.

**Прочность режущих инструментов.** Прочность твердых тел в широком смысле — свойство твердых тел сопротивляться разрушению (разделению на части), а также необратимому изменению формы (пластическим деформациям) под действием внешних нагрузок. В узком смысле — сопротивление разрушению.

У режущих инструментов имеют место следующие виды разрушений: хрупкое разрушение, пластическая деформация и разрушение после пластической деформации. При хрупком разрушении макропластическая деформация мала по сравнению с упругой. Инструмент может разрушиться под действием сил механического и термического происхождения. В зависимости от уровня нагрузки, ее характера и температуры в опасных местах возможно разрушение инструмента в связи с однократной перегрузкой, усталостью, ползучестью и т. д.

Разрушения наблюдаются в различные моменты периодов стойкости и эксплуатации инструмента. Поэтому разрушения следует классифицировать по времени их возникновения. Различают разрушения периода приработки, нормальной эксплуатации и старения, которые отличаются степенью детерминации. Разрушения периода нормальной эксплуатации считают чисто случайными. Наиболее детерминированным и, следовательно, легче прогнозируемым является разрушение периода старения.

Разрушению могут подвергаться режущий клин по сечению или его участки; режущая пластина, зуб или вся рабочая часть цельного инструмента; калибрующая или направляющая части; паяное соединение или элементы механического крепления режущей пла-

стинки; державка или корпус у задней поверхности под пластинкой (опорная зона державки); державка или корпус у места крепления инструмента и т. д.

В зависимости от размеров и формы отделяемых или деформируемых частей инструмента различают микровыкрашивание, макровыкрашивание, скалывание тонких слоев или отделение слоев значительной толщины, локальное выдавливание материала и т. д.

**Работоспособность инструмента** — это его способность осуществлять процесс резания с заданной производительностью и качеством обработки.

**Отказ** — событие, заключающееся в нарушении работоспособности. Различают разрушение, требующее обязательного прекращения процесса резания (*полный отказ*), и разрушение, не требующее прекращения процесса (*частичный отказ*).

Износ и выкрашивание влияют на разрушение пластины значительно меньше, чем это принято считать. Направление трещин обычно не совпадает с сечением, по которому разрушается пластина. Часто инструмент с трещинами заменяют только в связи с износом и даже после переточки он бывает работоспособным, хотя вероятность разрушения пластины в процессе резания и особенно при заточке возрастает. Разрушение пластины во многих случаях следует считать отказом, зависимым от деформации державки или корпуса у задней поверхности (опорной зоны).

По целесообразности восстановления работоспособности инструмента отказы подразделяются на *устранимые* (рационально восстановление или перестановка пластины инструмента) и *неустранимые* (восстановление нерационально). Неустранимые отказы резко увеличивают расход инструмента, могут быть причиной брака детали; иногда требуется вырубка частиц твердого сплава, внедрившихся в заготовку. Неустранимые отказы чаще вызывают простой оборудования, так как они более других связаны со случайными факторами и поэтому хуже прогнозируются.

Под *разрушением*, или *поломкой*, *пластины* (первый вид разрушения) будем понимать отделение материала толщиной, существенно превышающей длину контакта инструмента с заготовкой и стружкой. В этом случае разрушаются припой, державка, и прочность инструмента зависит от свойств не только пластины, но и опорной зоны державки, а также зоны их соединения. Под *разрушением режущего клина* или *режущей части* (второй вид разрушения) будем понимать скалывание слоев толщиной, близкой к длине зоны контакта; это разрушение мало зависит от свойств опорной зоны и зоны соединения инструмента.

Повысить прочность инструмента можно следующими путями: выбором оптимальной марки инструментального материала; правильным конструированием (округление режущих кромок, выбор оптимального радиуса при вершине; выбор размеров пластин и размеров, координирующих их расположение; качество опорной поверхности пластины и др.); упрочнением твердосплавного инструмента пластическим деформированием путем дробеструйного наклепа, чеканки, вибрационной обработки и др.; выбором оптимальных режимов резания, схемы обработки и рациональным применением СОЖ.

## **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

---

1. Какие формообразующие движения инструмента при резании являются главными? Что такое подача?
2. Какие поверхности различают на обрабатываемой заготовке?
3. Перечислите главные движения при различных методах резания.
4. Перечислите основные элементы режущей части инструмента, ее геометрические параметры.
5. На каких плоскостях и видах измеряют углы заточки резца?
6. Что такое элементы резания и что — элементы срезаемого слоя?
7. Перечислите виды стружек. Что такое нарост?
8. Для чего применяют смазывающе-охлаждающие вещества и какие они бывают?
9. Что такое износ режущего инструмента, как износ зависит от режимов резания?
10. От чего зависит стойкость режущего инструмента?
11. Какие вибрации возникают при резании и как с ними нужно бороться?

## ТОЧЕНИЕ

**7.1. ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДА ТОЧЕНИЯ**

Технологический метод формообразования поверхностей заготовок точением характеризуется наличием двух движений: вращательным главным движением  $D_r$  заготовки (определяет скорость резания) и поступательным движением режущего инструмента-резца (движение подачи  $D_s$ ).

Классификация токарных станков приведена в табл. 6.1. На вертикальных полуавтоматах и автоматах и токарно-карусельных станках заготовки имеют вертикальную ось вращения, на всех прочих — горизонтальную. Движение подачи осуществляется параллельно, перпендикулярно или под углом к оси вращения заготовки.

На станках токарной группы обрабатывают в основном наружные и внутренние поверхности, имеющие форму тел вращения, а также плоские (торцовые) поверхности. На специальных и специализированных станках можно обрабатывать и более сложные поверхности, например поверхности, описываемые уравнением спирали Архимеда, циклоиды и т. д., а также плоские многогранники (четырёх-, шестигранные плоские поверхности и т. д.).

Под термином *точение* (*обтачивание*), как правило, понимают обработку наружных поверхностей. Разновидности точения — это **расточивание** — обработка внутренних поверхностей; **погрезание** — обработка плоских (торцовых) поверхностей и **разрезаание** — разделение заготовки на части или отрезание готовой детали от ее заготовки — пруткового проката. Точение осуществляется резцами.

### 7.2.1. Общие сведения о токарных станках

Токарные станки предназначены для обработки тел вращения и плоскостей, перпендикулярных к их осям, — торцовых. На токарных станках обрабатывают заготовки с наружными и внутренними цилиндрическими, коническими, сферическими, фасонными и торцевыми поверхностями, проводят отрезку и разрезку материала. Напомним, что обработку наружных поверхностей резцами называют обтачиванием, внутренних — растачиванием.

В результате обработки заготовок на токарных станках получают такие детали, как валы, втулки, диски, винты, гайки и т. п.

Перед работой токарный станок подвергают наладке и настройке.

Точность обработки по диаметру — 9–7-й квалитеты. Шероховатость поверхности от  $Rz\ 20$  до  $Ra\ 0,63$  мкм.

Основные типы токарных станков следующие: 1) токарные станки, на которых выполняют разнообразные токарные операции резцами, можно проводить обработку отверстий сверлами, зенкерами, развертками, нарезать резьбу плашками и метчиками, но нарезать резьбу резцами нельзя; 2) токарно-винторезные станки, которые отличаются от токарных наличием ходового винта, что позволяет нарезать резьбу резцами.

Модели токарных станков: ДиП-200 (1Д62), 1А62, 1К62, 1620, 1К62М и т. д.

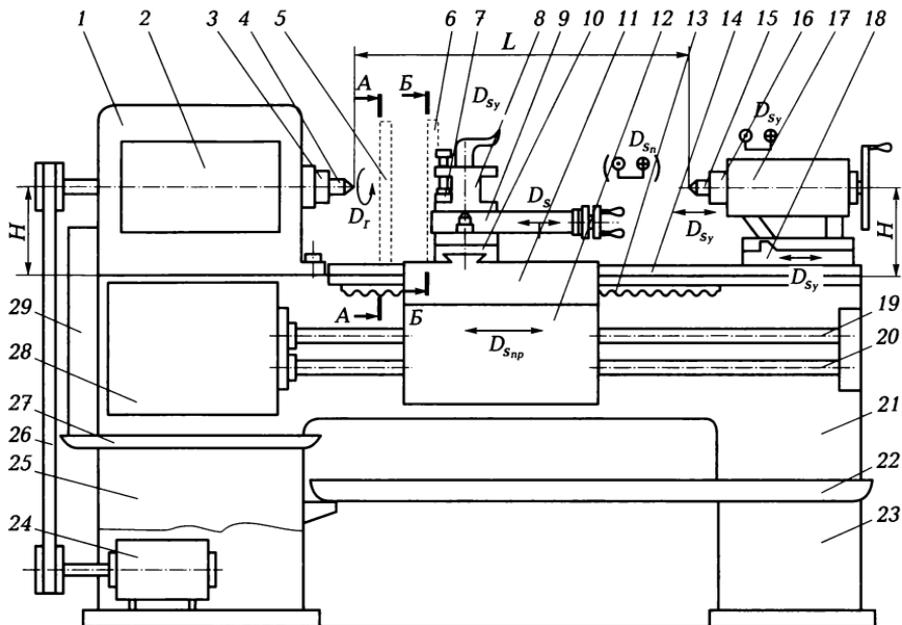
В современном машиностроении и приборостроении обработка на токарных станках — черновая, получистовая и реже чистовая. В механических цехах машиностроительных заводов удельный вес токарных станков и автоматов составляет 30...40 % общего парка металлорежущих станков.

На рис. 7.1 показана упрощенная схема токарно-винторезного станка.

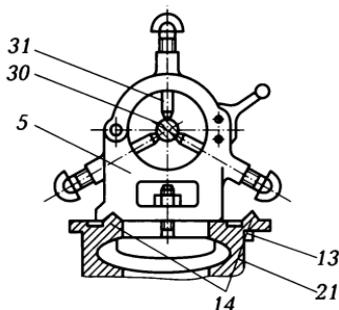
Важнейшими характеристиками токарных станков являются следующие:  $H$  — высота центров над станиной, которая устанавливает наибольший возможный радиус обрабатываемой заготовки, мм;  $L$  — расстояние между центрами, которое устанавливает наибольшую длину обрабатываемых заготовок, мм.

Назначение основных механизмов и деталей токарно-винторезного станка следующее.

Станина 21 с горизонтальными призматическими направляющими 14 служит для монтажа всех механизмов станка и для вос-



А—А  
(без суппорта и задней бабки)



Б—Б  
(без задней бабки.  
Суппорт и фартук не разрезаны)

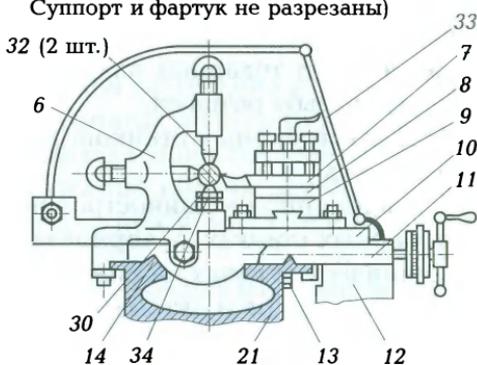


Рис. 7.1. Упрощенная схема общего вида токарно-винторезного станка (на виде спереди станок показан без заготовки):

1 — передняя бабка; 2 — панель коробки скоростей; 3 — шпиндель; 4 и 15 — центры; 5 — неподвижный люнет; 6 — подвижный люнет; 7 — резец; 8 — резцедержатель; 9 — верхний суппорт; 10 — поперечная каретка; 11 — продольный суппорт; 12 — фартук; 13 — зубчатая рейка; 14 — призматические направляющие; 16 — пиноль; 17 — корпус задней бабки; 18 — нижняя плита задней бабки; 19 — ходовой винт; 20 — ходовой валик; 21 — станина; 22 и 27 — корыта; 23 — задняя тумба; 24 — электродвигатель; 25 — передняя тумба; 26 — ременная передача (условно отодвинута от станины); 28 — коробка подач; 29 — коробка сменных зубчатых колес; 30 — заготовка; 31 — упоры неподвижного люнета; 32 и 34 — упоры подвижного люнета; 33 — защитный экран;  $D_s$  — установочные движения элементов станка 8, 16, 17 и 18

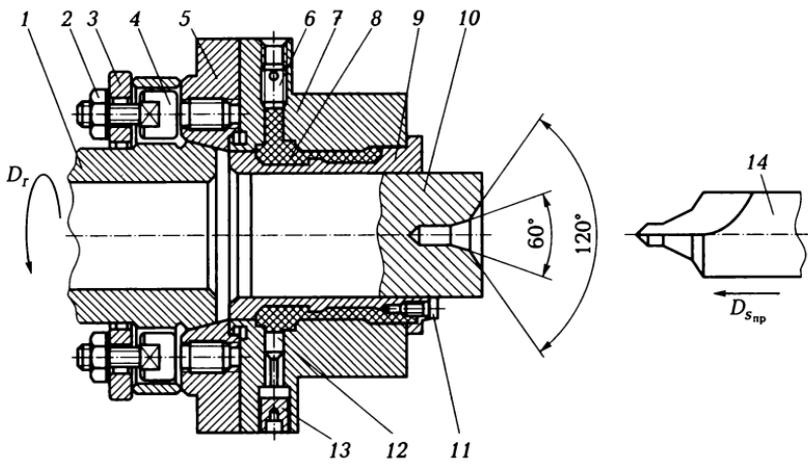
прияття усилий, возникающих во время обработки, без заметных деформаций. Станина закреплена на двух тумбах: передней 25, в которой смонтирован электродвигатель 24 главного привода станка, и задней 23, в которой смонтирован бак для хранения СОЖ и насосная станция для подачи жидкости в зону резания при обработке заготовок (последние на схеме не показаны). Электродвигатель предназначен для подачи мощности, затрачиваемой на резание (с учетом мощности, расходуемой на трение, которая, прежде всего, и определяет КПД станка).

Передняя бабка служит для закрепления обрабатываемого изделия и сообщения ему главного вращательного движения  $D$ , с различными скоростями. Переднюю бабку жестко крепят болтами к станине 21 с левой ее стороны. В корпусе передней бабки размещены шпиндель 3 и коробка скоростей. На лицевой стороне передней бабки установлена панель 2 управления механизмами и передачами коробки скоростей. Шпиндель 3 — важнейшая часть передней бабки — пустотелый вал, вращающийся в подшипниках. На шпинделе устанавливают приспособления, предназначенные для закрепления заготовки. На переднем конце шпинделя 1 (рис. 7.2, а) на резьбе (или болтами) крепят фланцы (поз. 5 на рис. 7.2, а и поз. 6 на рис. 7.2, б), патрон (поз. 1 на рис. 7.2, б) или планшайбу (поз. 1 на рис. 7.3, а), а в конусном отверстии шпинделя 4 (см. рис. 7.2, б) устанавливают центр 5.

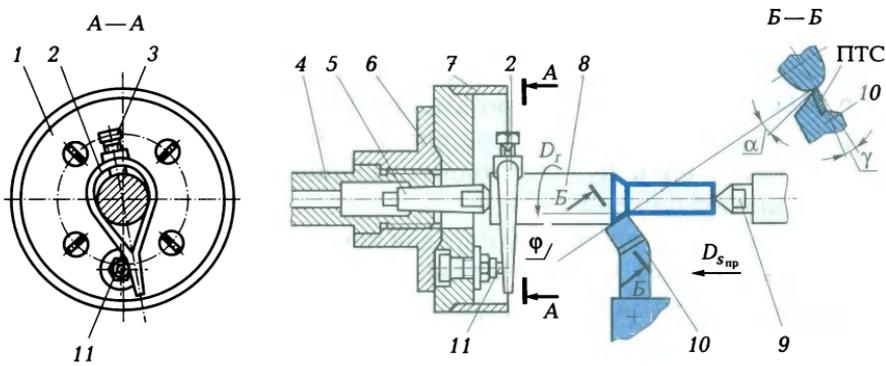
С помощью механизмов и передач коробки скоростей, расположенных в передней бабке 1, можно задавать необходимую частоту вращения шпинделя, а также различные величины подач (разные скорости перемещения суппортов), последнее — совместно с механизмами и передачами коробки подач 28 (см. рис. 7.1). Коробку подач 28 крепят к лицевой стороне станины. С левой торцевой стороны станины установлена коробка 29 сменных зубчатых колес, необходимых для наладки станка на нарезание резьбы.

Продольный суппорт 11, установленный на направляющих 14 станины 21, перемещается по ним и обеспечивает продольную подачу  $D_{\text{сп}}$  резца 7.

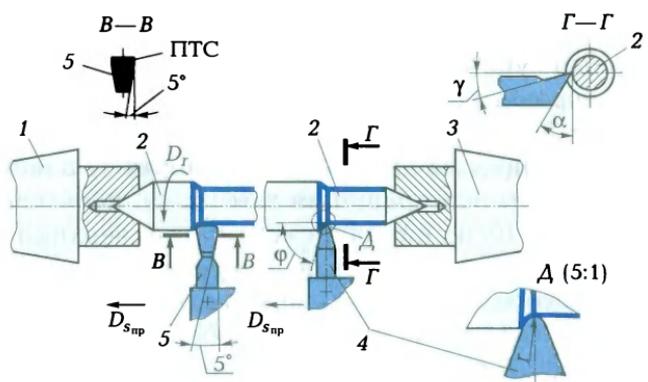
По направляющим на продольном суппорте 11 в направлении, перпендикулярном оси вращения заготовки, перемещается поперечная каретка 10, на которой смонтирован верхний суппорт 9. На верхнем суппорте смонтирован четырехпозиционный поворотный резцедержатель 8, в котором можно одновременно закреплять четыре резца. Поперечная каретка 10 обеспечивает поперечную  $D_{\text{сн}}$  подачу резца. К продольному суппорту 11 крепят фартук 12, в котором смонтированы механизмы и передачи, преобразующие



a



б



в

Рис. 7.2. Схемы обработки заготовок, закрепленных в опорных и обратных центрах на токарно-винторезном станке:

*a* — центровка торца заготовки: 1 — шпиндель; 2 — гайка; 3 — поворотная шайба; 4 — винтшпилька; 5 — переходной фланец приспособления патрона; 6 — регулировочный винт; 7 — корпус гидропластового патрона; 8 — упругая масса; 9 — втулка; 10 — заготовка; 11 — крепежный винт; 12 — плунжер; 13 — зажимной винт; 14 — центровочное сверло; *б* — в опорных центрах с передачей крутящего момента заготовке от шпинделя станка при помощи поводкового патрона и хомутика: 1 — корпус поводкового патрона; 2 — хомут; 3 — винт; 4 — шпиндель; 5 — передний опорный центр; 6 — фланец; 7 — защитный экран; 8 — заготовка; 9 — задний опорный центр; 10 — резец проходной отогнутый правый; 11 — цилиндрический палец; ПТС — пластинка из твердого сплава; *в* — в обратных центрах с передачей крутящего момента заготовке от шпинделя станка за счет трения при помощи обратного центра: 1 и 3 — передний и задний обратные центры; 2 — заготовка; 4 — резец чистовой; 5 — резец чистовой широкий

вращательное движение ходового валика 20 (при точении) или ходового винта 19 (при нарезании резьбы), получаемое от электродвигателя 24 через коробки скоростей, подач и сменных зубчатых колес, в поступательные продольные  $D_{s_{np}}$  или поперечные  $D_{s_n}$  движения суппортов. Поддачи  $D_{s_{np}}$  и  $D_{s_n}$  могут быть обеспечены и вручную с помощью рукояток.

Верхний поворотный суппорт 9 можно устанавливать под любым углом к линии центров станка, что необходимо при обработке конических поверхностей. В этом случае наклонная подача  $D_{s_n}$  резца — ручная.

Корпус 17 задней бабки устанавливается на ее нижней плите 18 и его можно перемещать относительно этой плиты в поперечном направлении (что и используется при обточке наружных конических поверхностей). Нижняя плита 18 в свою очередь устанавливается на направляющих станины 21 (с правой ее стороны) и может перемещаться по этим направляющим вдоль линии центров станка (данное движение используют при закреплении заготовки). Поскольку при эксплуатации станка суппорт 11 перемещается в продольном направлении большую часть машинного времени и его направляющие интенсивно изнашиваются, а задняя бабка 17, 18 перемещается в этом направлении эпизодически, постольку в станке предусмотрены отдельные направляющие для задней бабки, которые почти не изнашиваются, что способствует сохранению соосности шпинделя 3 передней бабки и пиноли 16 задней бабки.

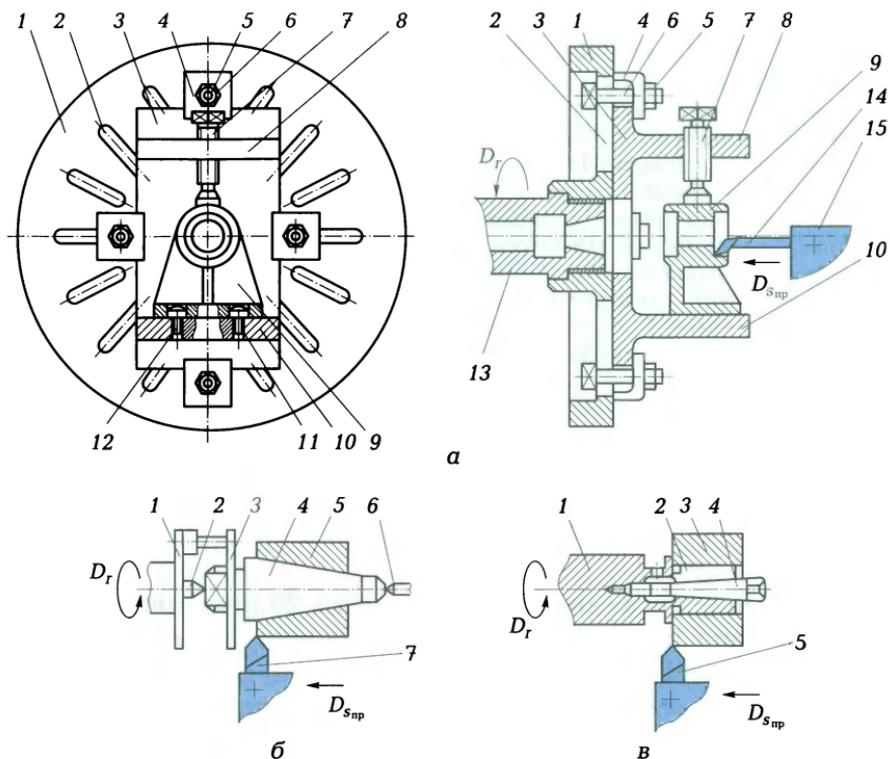


Рис. 7.3. Схемы обработки заготовок на планшайбе и на оправках на токарно-винторезных станках:

*а* — на планшайбе: 1 — планшайба; 2 — паз; 3 — основание; 4 — прихват; 5 — гайка; 6 и 7 — болты; 8 и 10 — стойки; 9 — заготовка; 11 — ромбический штифт; 12 — цилиндрический штифт; 13 — шпindel; 14 — резец расточный для глухих отверстий; 15 — резцедержатель; *б* — на жесткой оправке: 1 — поводковый патрон; 2 и 6 — центры; 3 — хомутик; 4 — жесткая коническая оправка; 5 — заготовка; 7 — резец; *в* — на разжимной цанговой оправке: 1 — основание; 2 — цанга; 3 — заготовка; 4 — винт; 5 — резец

Задняя бабка служит для поддержки нежестких заготовок при обработке с целью обеспечить соосность заготовки со шпинделем. Поддерживающий задний центр 15 устанавливается в пиноли 16 задней бабки, ось которой совпадает с линией центров станка и которую можно перемещать вдоль этой оси вручную с помощью рукоятки. Это движение используется также, когда в пиноль 16 устанавливают инструмент (сверло, зенкер или развертку) для обработки отверстий.

Для предохранения рабочего от травм сходящей стружкой на станке устанавливают специальный защитный экран 33.

## 7.2.2. Инструменты для токарных работ

Основные инструменты для токарных работ — это резцы.

По форме головки и ее положению относительно державки резцы подразделяют на *прямые* (поз. 5 на рис. 7.4, а и резцы на рис. 7.4, б) и *отогнутые* (поз. 10 на рис. 7.2, б), *симметричные* — поз. 5 на рис. 7.2, в; *оттянутые* (вправо — поз. 6 на рис. 7.5, а; влево — поз. 6 на рис. 7.5, б) и *изогнутые* (поз. 6 на рис. 7.5, а), которые используют для отрезки заготовок больших диаметров. По направлению подачи резцы подразделяют на правые и левые (см. рис. 7.4, б). *Правые резцы* работают с подачей справа налево,

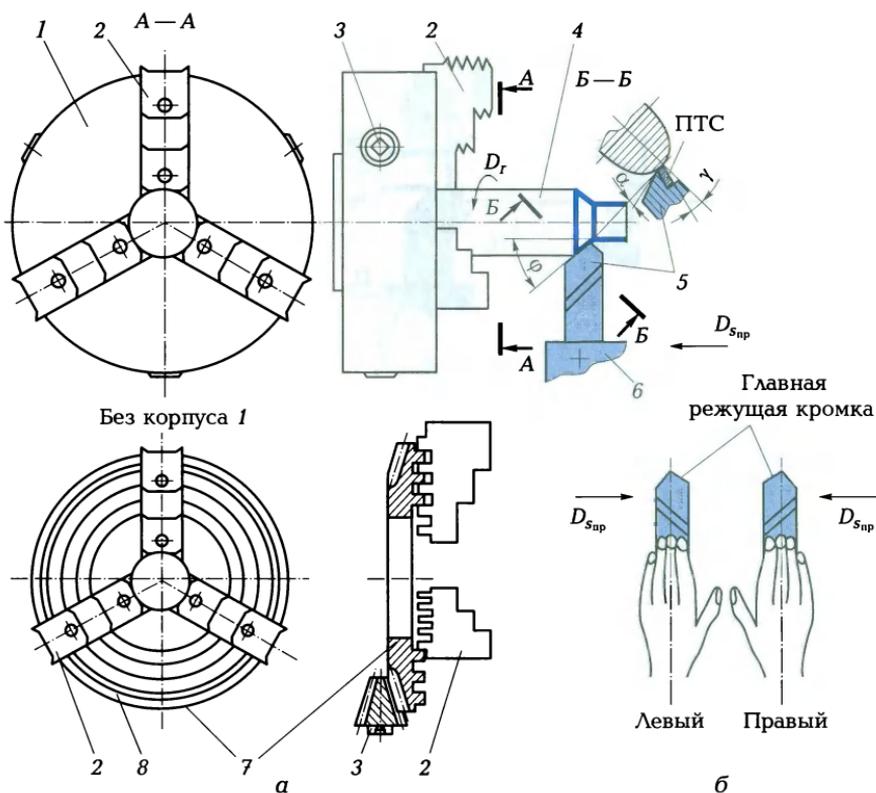


Рис. 7.4. Схемы обработки заготовок на токарно-винторезном станке:

а — закрепленных в самоцентрирующем трехкулачковом патроне: 1 — корпус патрона; 2 — кулачки; 3 — малое коническое колесо; 4 — заготовка; 5 — резец проходной правый прямой с ПТС; б — резцедержатель суппорта; 7 — большое коническое колесо; 8 — торцовая резьба; б — резцы проходные левый и правый

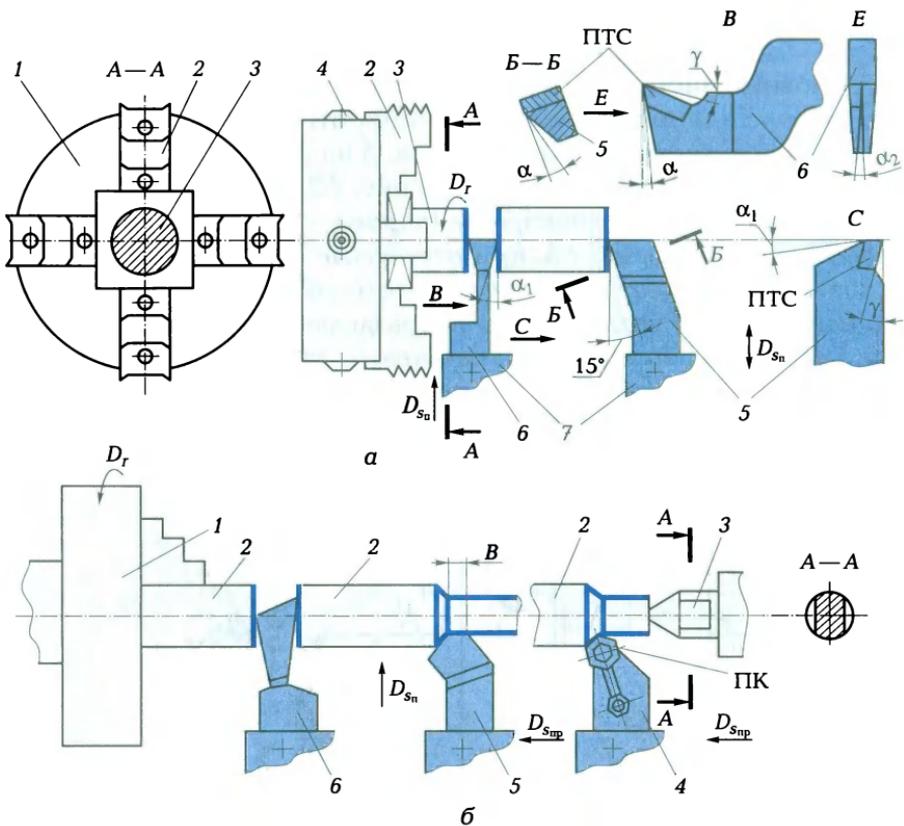


Рис. 7.5. Схемы обработки на токарно-винторезном станке заготовок, закрепленных в патронах:

*а* — в четырехкулачковом патроне: 1 — корпус; 2 — кулачок; 3 — заготовка; 4 — малое коническое колесо; 5 — резец подрезной отогнутый; 6 — резец отрезной оттянутый вправо изогнутый вниз; *б* — в кулачковом патроне с поддержкой задним центром: 1 — патрон; 2 — заготовка; 3 — задний опорный центр; 4 — резец проходной правый отогнутый с пластиной из керамики; 5 — резец проходной правый отогнутый с дополнительной режущей кромкой; 6 — резец отрезной оттянутый влево;  $\gamma$ ,  $\alpha$ ,  $\alpha_1$  — передний, главный и вспомогательный задние углы в плане;  $B$  — ширина дополнительной режущей кромки

левые — слева направо. По роду материала режущей части резцы бывают из углеродистых или легированных инструментальных сталей, из быстрорежущей стали, с пластинами из твердого сплава (у резца 10 на рис. 7.2, б; у резца 5 на рис. 7.2, в; у резца 5 на рис. 7.4, а; у резцов 5 и 6 на рис. 7.5, а); с пластинами из керамики (у резца 4 на рис. 7.5, б); с кристаллами алмазов. По способу крепления режущей части различают резцы: *цельные* (поз. 6, 7, 8 на рис. 7.6, а)

из углеродистых или легированных инструментальных сталей; *составные* — с приваренной встык головкой (резец 6 на рис. 7.5, *a*) из быстрорежущей стали к стержню из конструкционной стали; *составные* — с приваренной (из быстрорежущей стали) или припаянной (для твердого сплава — ПТС) пластиной (резец 5 на рис. 7.4, *a* и т. д.) к стержню из углеродистой инструментальной стали;

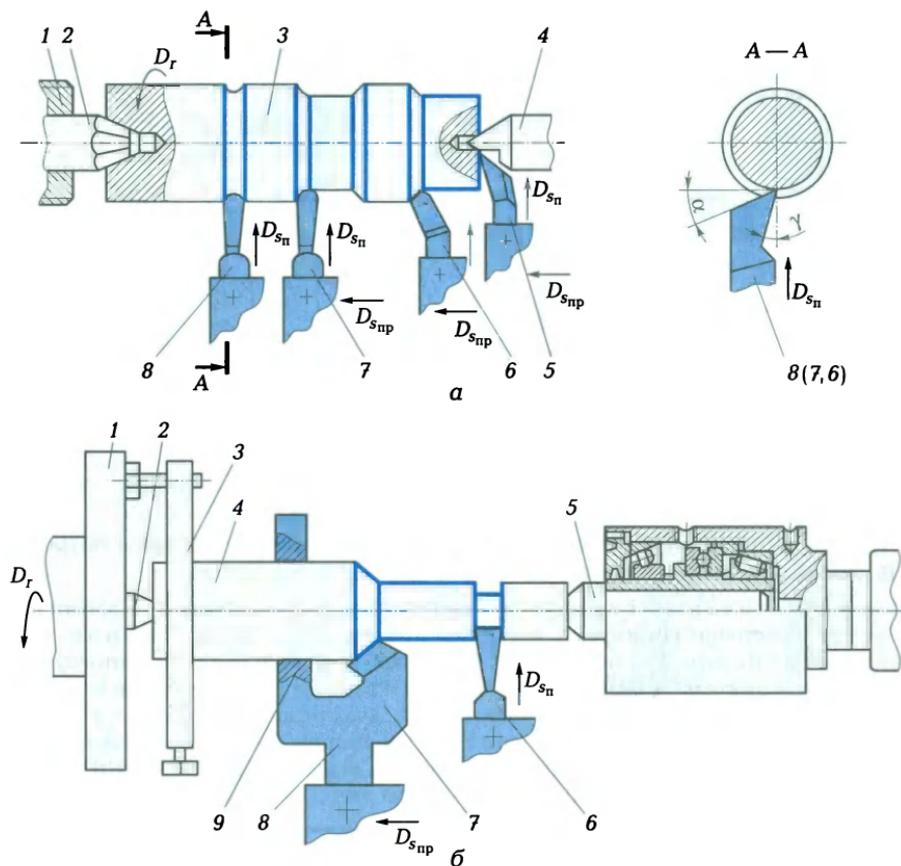


Рис. 7.6. Схемы обработки заготовок, закрепленных в опорных, рифленых и вращающихся центрах:

*a* — в центрах с передачей крутящего момента заготовок от шпинделя станка с помощью рифленого центра: 1 — шпиндель; 2 — рифленый центр; 3 — заготовка; 4 — задний срезанный центр; 5 — резец подрезной отогнутый; 6, 7 и 8 — фасонные резцы (6 — отогнутый; 7 и 8 — прямые); *б* — в центрах, один из которых вращающийся: 1 — поводковый патрон; 2 — центр; 3 — хомут; 4 — заготовка; 5 — задний вращающийся центр; 6 — резец прорезной прямой симметричный; 7 — резец проходной отогнутый правый; 8 — державка; 9 — люнет (подставка)

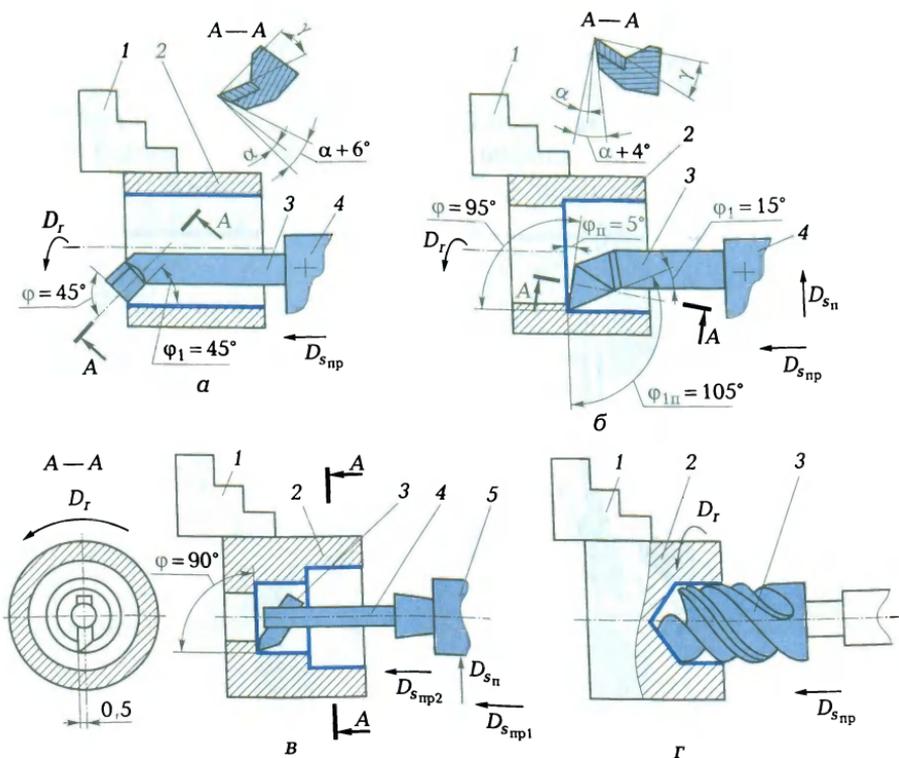


Рис. 7.7. Схемы обработки отверстий заготовок, закрепленных в патроне, на токарно-винторезном станке:

*а* — растачивание сквозного отверстия: 1 — патрон; 2 — заготовка; 3 — резец расточный отогнутый; 4 — резцедержатель; *б* — растачивание глухого отверстия: 1 — патрон; 2 — заготовка; 3 — резец расточный отогнутый; 4 — резцедержатель;  $\varphi$ ,  $\varphi_1$  и  $\varphi_{п}$ ,  $\varphi_{1п}$  — главные и вспомогательные углы в плане соответственно при продольной и поперечной подачах резца; *в* — растачивание глухого ступенчатого отверстия: 1 — патрон; 2 — заготовка; 3 — резец расточный прямой; 4 — борштанга; 5 — пиноль задней бабки; *г* — сверление глухого отверстия: 1 — патрон; 2 — заготовка; 3 — сверло

с механическим креплением сменных пластин из керамического материала (ПК на резце 4 на рис. 7.5, б).

По технологическому назначению различают резцы *проходные* (поз. 5 на рис. 7.4, а) — для обтачивания наружных цилиндрических и конических поверхностей; *подрезные* (поз. 5 на рис. 7.5, а и 5 на рис. 7.6, а) — для обтачивания плоских торцевых поверхностей; *расточные* — для растачивания сквозных (поз. 3 на рис. 7.7, а) и глухих (имеющих торцы) (поз. 3 на рис. 7.7, б, в) отверстий; *отрезные* (поз. 6 на рис. 7.5, а, б) — для разрезания заготовок; *резьбовые* (поз. 3

на рис. 7.8, г, г) — для нарезания наружных и внутренних резьб; фасонные (поз. 3 на рис. 7.8, а, б, в) — для обтачивания фасонных поверхностей; прорезные — для обтачивания кольцевых канавок (поз. 6 на рис. 7.6, б); галтельные (поз. 6, 7, 8 на рис. 7.6, а) — для

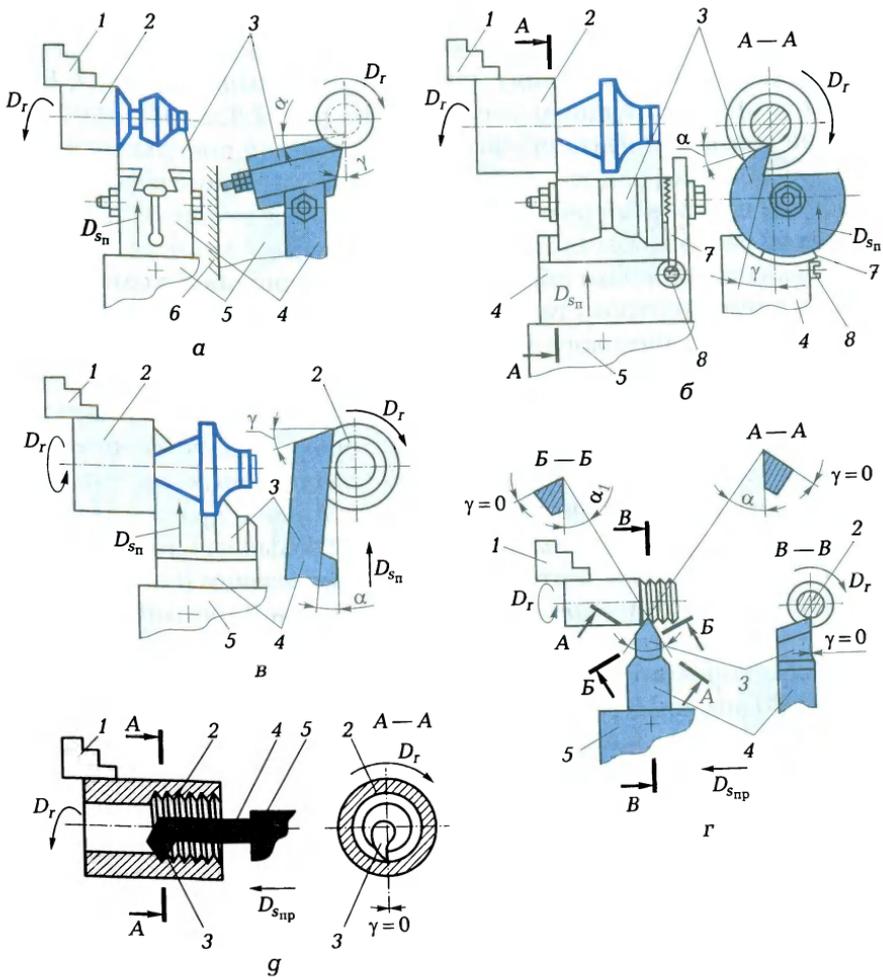


Рис. 7.8. Схемы точения фасонных поверхностей и резьб на токарно-винторезном станке:

а — призматическим радиальным фасонным резцом; б — фасонным круглым радиальным резцом; в — призматическим тангенциальным фасонным резцом; г — обточка наружной резьбы; г — расточка внутренней резьбы; 1 — патрон; 2 — заготовка; 3 — рабочая часть резца; 4 — державка резца; 5 — резцедержатель; 6 — упор (база); 7 — червячный сектор; 8 — червяк

обтачивания переходных поверхностей между ступенями валов по галтели (скруглению, радиусу).

Проходные прямые и отогнутые резцы можно использовать как для черновой, так и для чистовой обработки; для чистовой обработки используют также специальные (широкие) проходные резцы (поз. 5 на рис. 7.2, в).

Фасонные резцы по конструкции разделяют на *стержневые* (поз. 6, 7, 8 рис. 7.6, а), *призматические* (поз. 3 на рис. 7.8, а) и *круглые* (поз. 3 на рис. 7.8, б); по виду подачи на *радиальные* (поз. 6, 7, 8 на рис. 7.6, а) и *тангенциальные* (поз. 3 на рис. 7.8, в). Их профиль должен соответствовать профилю обрабатываемой поверхности.

У резбовых резцов профиль также должен соответствовать профилю нарезаемой резьбы. Эти резцы во избежание искажения профиля резьбы обычно изготавливают с передним углом  $\gamma = 0$  и устанавливают таким образом, чтобы их вершина находилась на высоте линии центров станка.

Для тонкого чистового точения изготавливают резцы (поз. 4, 5 на рис. 7.2, в) из твердых сплавов или алмазов. Резцы из твердых сплавов применяют при обработке заготовок из стали и чугуна. Алмазные резцы — для обработки заготовок из цветных металлов и их сплавов, а также слоистых изделий (шихтованных, т. е. сборных из пластин; магнитопроводов роторов; статоров и др.).

Для высокопроизводительного точения с большими подачами используют резцы с дополнительным режущим лезвием (поз. 5 на рис. 7.5, б) конструкции токаря Л. В. Колесова. Длина  $B$  дополнительного режущего лезвия составляет  $1,1s_{пр}$ . Резец устанавливают на станке так, чтобы дополнительное режущее лезвие было параллельно направлению подачи. В этом случае  $\phi_1 = 0$  и обработанная поверхность будет иметь малую шероховатость.

У резцов с механическим креплением пластин (поз. 4 на рис. 7.5, б), когда одно из режущих лезвий многогранной неперетачиваемой твердосплавной пластины или пластины из керамики выходит из строя вследствие затупления, открепляют механический прижим пластины и устанавливают в рабочее положение следующее ее лезвие. Форма пластин может быть трех-, четырех-, пяти-, шестигранной (рис. 7.9, а — г).

**Стандартные режущие элементы резцов и других инструментов.** Установлены стандартные формы и основные размеры пластин для резцов и других металлорежущих инструментов (табл. 7.1, 7.2).

Широко применяется механическое крепление пластин. В Российской Федерации действует ряд стандартов на твердосплавные механически закрепляемые пластины. Последние классифицируют

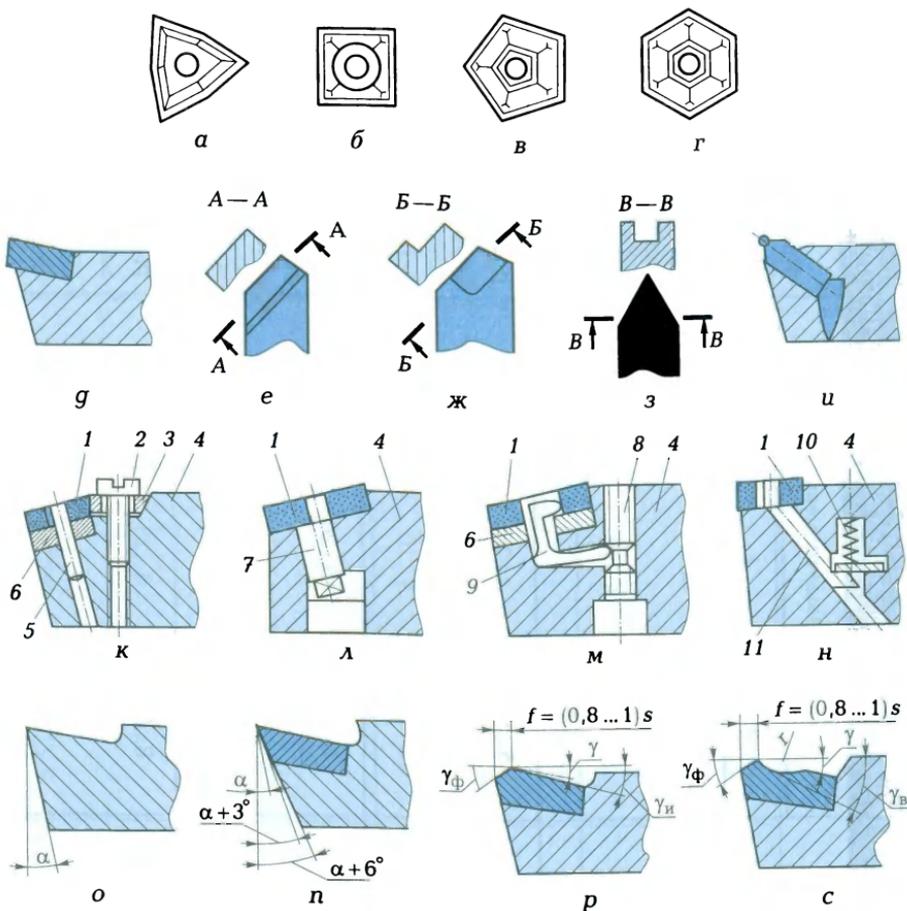
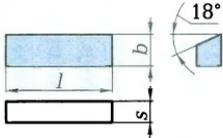
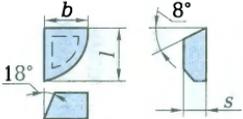
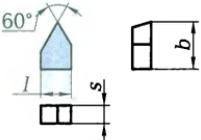
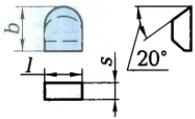


Рис. 7.9. Формы твердосплавных механически закрепляемых пластин (а, б, в, г); формы пазов под пластину (д, е, ж, з, и); способы механического закрепления твердосплавных пластин с отверстием (к, л, м, н); формы передней и задней поверхностей резцов и пластин (о, п, р, с):

а, б, в, г — соответственно трех-, четырех-, пяти-, шестигранные пластины; г, е — открытые пазы; ж, з — полузакрытые пазы; и — закрытый паз; к — винтом, двухсторонним клином и стальным штифтом; л — осью с эксцентриком и рычагом; м — винтом и рычагом; н — пружиной и рычагом: 1 — пластина; 2 — винт; 3 — двухсторонний клин; 4 — рабочая часть резца; 5 — штифт; 6 — прокладка; 7 — ось с эксцентриком; 8 — винт с пазом; 9 — рычаг; 10 — пружина; 11 — рычаг с канавкой; о — плоские передняя и задняя поверхности; п — задняя поверхность с фаской; р, с — ломаная и криволинейная поверхности пластин с фаской;  $\alpha$ ,  $\gamma$  — задний и передний углы резца;  $\gamma_{\text{в}}$ ,  $\gamma_{\text{ф}}$  — углы выемки и фаски соответственно;  $r$  — радиус выемки

Таблица 7.1. Перегачиваемые пластины из твердого сплава для режущего инструмента

Номер формы	Эскиз пластины	Основные размеры, мм			Инструмент, для которого предназначена пластина
		$l$	$b$	$s$	
01		5...60	3...22	2...14	Резцы проходные чистовые широкие; резцы расточные
10		5...50	3...25	2...14	Резцы проходные прямые; резцы расточные
11		3...12	10...20	2,5...7	Резцы резьбовые
16		8...22	8...25	3...8	Резцы галтельные и бандажные

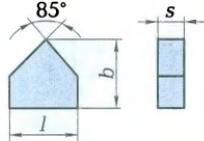
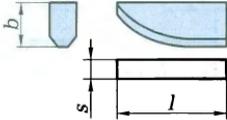
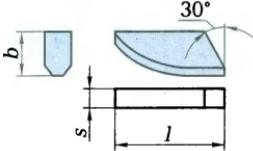
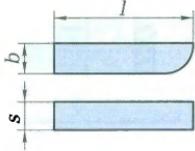
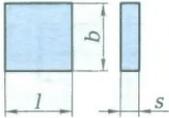
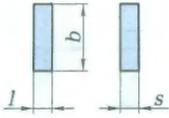
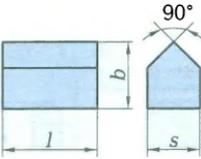
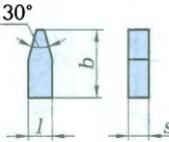
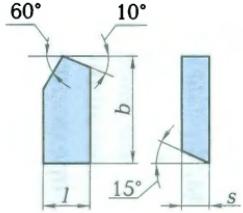
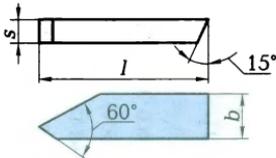
17		5,5...31,5	8...30	0,8...5	Сверла для обработки неметаллических материалов
21		12...45	3...21	1,5...6	Фрезы концевые и шпоночные; зенкеры; цековки
25		16...32	4...10	2...4	Зенкеры для сквозных отверстий
47		12...25	4...18	4...7	Резцы отрезные и проходные к автоматам фасонно-продольного точения

Таблица 7.2. Пластины из быстрорежущей стали для токарных, строгальных и долбежных резцов

Номер формы	Эскиз пластины	Основные размеры, мм			Резцы, для которых предназначена пластина
		$l$	$b$	$s$	
41		10...40	10...30	5...16	Токарные проходные отогнутые, упорные; строгальные чистовые
49		4...15	15...28	3...12	Токарные отрезные, канавочные; строгальные прорезные и отрезные
54		20...40	12...30	12...32	Долбежные проходные двухсторонние
55		6...16	15...20	4...8	Токарные резьбовые

57		12...20	40...60	6...10	Токарные прямые проходные с углом $\varphi = 60^\circ$
61		40...60	10...20	6...10	Токарные резьбовые

по семи параметрам, которые условно обозначают цифрами или буквами:

- *по форме*: трехгранные с углом  $60^\circ$  (01 или *T*), с углом  $80^\circ$  (02 или *F*), квадратная (03 или *S*), ромбические с углом  $60^\circ$  (04 или *G*), с углом  $80^\circ$  (05 или *C*), с углом  $84^\circ$  (06 или *U*), параллелограммные с углом  $84^\circ$  (07 или *W*), с углом  $55^\circ$  (08 или *K*), прямоугольная с радиусом режущей кромкой (09 или *L*), пятигранная (10 или *P*), шестигранная (11 или *H*), круглая (12 или *R*);
- *по величине заднего угла*:  $\alpha = 0$  (1 или *N*),  $\alpha = 7^\circ$  (2 или *C*),  $\alpha = 11^\circ$  (3 или *P*);
- *по степени точности*: нормальная (1 или *U*), повышенная (2 или *M*), высокая (3 или *G*), особо точная (4 или *C*). Пластины нормальной и повышенной точности шлифуют по опорным поверхностям и ленточке, но пластины повышенной точности шлифуют с более жестким допуском на диаметр вписанной окружности *d*; две другие степени обеспечиваются шлифованием также и боковых поверхностей;
- *по конструктивным особенностям*: без отверстия и канавки (1 или *K*), с отверстием, но без канавки (3 или *A*), с отверстием и канавкой с одной стороны (4 или *M*) и др. (всего 6 вариантов);
- *по размерам отдельных элементов*: длина режущей кромки *l*, толщина пластины *s*, радиус при вершине, увеличенный в 10 раз. Таким образом, форма, геометрия, степень точности и т.д. квадратной пластины из сплава Т15К6 с углом  $\alpha = 7^\circ$ , повышенной степени точности, без отверстия и канавки, с длиной режущей кромки  $l = 27$  мм, толщиной 7 мм, с радиусом при вершине 1,6 мм может быть обозначена по ГОСТ 19052—80 цифрами 03221-270716 Т15К6 или буквами и цифрами SCMN 270716 Т15К6.

Разнообразие форм и конструктивных элементов пластин, предусмотренное стандартом, позволяет подобрать нужный вариант пластин для данного типа инструмента (резца, фрезы и т.д.) и конкретных условий его работы.

**Крепление режущих элементов резца.** Режущие пластины соединяют с головкой резца пайкой, сваркой или механическим способом. В первых двух случаях на головке резца предварительно фрезеруют паз той или иной формы: открытый, полузакрытый, закрытый (рис. 7.9, *g*, *e*, *ж*, *з*, *и*). Однако твердосплавные пластины при напайке подвергают действию перепада температур, что вызывает появление микротрещин и выход резцов из строя. Лучший вариант закрепления пластин — механическое крепление.

На рис. 7.9, *к*, *л*, *м*, *н* приведены схемы закрепления твердосплавных пластин с отверстием. Стальной штифт 5 запрессован в рабо-

чую часть 4 резца (см. рис. 7.9, к) и на него надевают закаленную стальную или твердосплавную прокладку 6 и пластину 1.

Двухсторонний клин 3 при ввинчивании винта 2 прижимает прокладку 6 к рабочей части 4, а пластину 1 — к прокладке 6 и к штифту 5 и таким образом закрепляют и ту и другую (1 и 6).

Более удачна (за счет уменьшения числа стыков) конструкция на рис. 7.9, л, где поворотом оси 7 с эксцентриком пластину 1 прижимают к базирующему уступу рабочей части 4 резца. Здесь для обеспечения самоторможения пластины должна быть достигнута высокая точность размерной цепи уступ — ось 7 с эксцентриком 7 — пластина 1.

На рис. 7.9, м показана самотормозящая пластину конструкция, которая позволяет создавать большее усилие зажима при помощи винта 8 с пазом и рычага 9. Зажим пластины 1 в конструкции на рис. 7.9, н осуществляется рычагом 11, перемещаемым пружиной 10.

В приведенных конструкциях действующие при резании силы улучшают закрепление пластин. В процессе резания пластина постепенно сминает опорную поверхность гнезда, что приводит к образованию зазора, возникновению переменных нагрузок и поломок пластины. Поэтому опорную поверхность гнезда защищают закаленной стальной или твердосплавной прокладкой 6 (см. рис. 7.9, к, м) такой же конфигурации, что и у режущей пластины.

**Формы передней и задней поверхностей резцов.** В результате практики применения резцов выработаны формы их передней и задней поверхностей. Различают плоскую (рис. 7.9, о), ломаную (рис. 7.9, л, р) и криволинейную (рис. 7.9, с) формы этих поверхностей. Технология переточки передней и задней поверхностей обычно включает в себя шлифование и доводку. С увеличением площади шлифуемой и доводимой задней поверхности резца из одного куска материала или с пластиной из быстрорежущей стали (см. рис. 7.9, о) технологичнее отделять только шлифуемую поверхность от доводимой путем введения ломаной задней поверхности под углом, больше заданного на 2...4°.

Резцы с пластинами из твердого сплава при заточке требуют применения разных шлифовальных кругов и режимов для державки и пластины. В силу этого целесообразна форма, изображенная на рис. 7.9, л, где доводимая поверхность отделена от шлифуемой, а стальная поверхность державки — от твердосплавной пластины.

Передняя поверхность резца может выполняться в трех основных вариантах, если не учитывать специальных ее подточек для обеспечения стружколомания и стружкозавивания: плоской (см. рис. 7.9, о, л), плоской с фаской (см. рис. 7.9, р) и криволинейной

с фаской (см. рис. 7.9, с). Резцы с плоской передней поверхностью применяют при обработке чугуна, при обработке стали с подачами  $s < 0,2$  мм/об; такую поверхность имеют фасонные резцы. Криволинейную переднюю поверхность с фаской имеют резцы для обработки стали, когда необходимо обеспечить стружкозавивание. Здесь, как и при плоской с фаской форме поверхности резца, важную роль при работе резца играет фаска шириной, несколько меньшей величины подачи, затачиваемая под углом  $\gamma_{\text{ф}}$ . Создание специальной фаски укрепляет место сопряжения передней и задней поверхностей — режущую кромку и благоприятствует нагружению ее силой резания. Радиус  $r$  (см. рис. 7.9, с) выемки передней поверхности выбирают в зависимости от подачи  $s$  и назначения резца  $r = (10 \dots 60)s$ .

Сочетание форм передней и задней поверхностей резца выбирают исходя из условий его эксплуатации.

### 7.2.3. Закрепление заготовок на токарных станках

Закрепление заготовок при токарной обработке осуществляют в патроне, в центрах, на планшайбе и на оправке в зависимости от конфигурации и размеров обрабатываемых изделий.

В единичном и мелкосерийном производстве при обработке на токарно-винторезных станках закрепление цилиндрических заготовок осуществляют в *трехкулачковом самоцентрирующем патроне* (см. рис. 7.4, а). Патрон состоит из корпуса 1 с тремя радиальными пазми, по которым перемещаются кулачки 2. Три небольших зубчатых колеса 3 вмонтированы в корпус и могут вращаться рабочим с помощью торцевого ключа. От этих колес (обычно от одного из них) вращение передается большому коническому колесу 7, на торце которого нарезана резьба 8 (спираль Архимеда). Основания кулачков также имеют торцевую резьбу, выступы которой входят во впадины резьбы 8 конического колеса 7. Вращение колеса 7 преобразуется в поступательное перемещение на одинаковую длину одновременно всех трех кулачков, которые движутся по радиальным пазам в корпусе 1 к центру или от центра патрона, что обеспечивает установку заготовок по оси патрона и ее закрепление тремя кулачками.

В крупносерийном и массовом производстве перемещение кулачков в самоцентрирующих патронах осуществляется от пневматических, гидравлических или электромагнитных приводов.

Для крепления заготовок сложной формы, которые не могут быть закреплены в **самоцентрирующем патроне**, применяют **четырёхкулачковые патроны** (см. рис. 7.5, а), у которых каждый кулачок 2 имеет независимое перемещение в радиальных пазах корпуса патрона при помощи механизмов винт — гайка (винтовых передач). Патроны используют для закрепления жестких заготовок, в частности трехкулачковые патроны применяют для закрепления заготовок с диаметром  $d_3$  и длиной  $L_3$  при  $L_3/d_3 \leq 4$ . При  $L_3/d_3 \leq 10$  заготовку закрепляют в **центрах** (см. рис. 7.2, б), а при  $L_3/d_3 > 10$  — в центрах с применением **люнетов**, которые повышают жесткость заготовки. Люнеты бывают неподвижные (поз. 5 на рис. 7.1), жестко закрепляемые на направляющих станка, и подвижные (поз. 6 на рис. 7.1), которые закрепляют на продольном суппорте и перемещают вместе с ним (люнеты 5 и 6 на фронтальной проекции рис. 7.1 показаны условно).

Тяжелые заготовки иногда одним концом закрепляют в кулачковом патроне (поз. 1 на рис. 7.5, б), а другой конец поддерживают центром 3.

Если заготовки валиков закрепляют в центрах, то перед обработкой заготовки необходимо центровать, т. е. сделать центровые отверстия в торцах вала. Центровые отверстия выполняют специальными центровочными сверлами (поз. 14 на рис. 7.2, а), форма и размеры которых установлены стандартом. На рис. 7.2, а показано центровое отверстие с двойным конусом (конус с углом  $60^\circ$  — рабочий, с углом  $120^\circ$  — предохранительный).

**Центры** — это поддерживающие устройства; бывают **опорными** (поз. 5 и 9 на рис. 7.2, б; поз. 2 и 6 на рис. 7.3, б), **срезанными** (поз. 4 на рис. 7.6, а), **с шариковым наконечником** (поз. 5 на рис. 7.10, в), **обратными** (поз. 1 и 3 на рис. 7.2, в) и **вращающимися** (поз. 5 на рис. 7.6, б).

Опорные центры применяют при обработке наружных тел вращения (без смещения корпуса задней бабки). Для повышения их долговечности эти центры делают с твердосплавными наконечниками. Срезанные центры применяют при подрезании торцов заготовки; шариковые центры — при обтачивании конических поверхностей заготовок способом сдвига задней бабки в поперечном направлении; обратные центры — при обработке заготовок небольших диаметров, у которых концы делают с конусной фаской из-за отсутствия места для центрального отверстия. Вращающиеся центры применяют для уменьшения трения в центровом отверстии при больших частотах вращения заготовки и при больших площадях сечения срезаемого слоя.

Центры имеют хвостовики с конусами Морзе, которыми, например, вставляются центр 5 в отверстие шпинделя 4 (см. рис. 7.2, б) и центр 15 в отверстие пиноли 16 задней бабки 17 (см. рис. 7.1).

При закреплении заготовки в центрах ей можно сообщить вращательное движение от шпинделя следующими способами: при помощи поводкового патрона 1 и хомутика 2, который закрепляется на заготовке 8 винтом 3 (см. рис. 7.2, б); с помощью обратного центра 1 (см. рис. 7.2, в), от которого за счет трения вращение передается заготовке и у нее можно обрабатывать всю наружную поверхность; при помощи рифленого центра 2 (см. рис. 7.6, а), который при средних режимах резания делает вмятины на заготовке, в связи с чем его применяют в тех случаях, когда заготовку на последующих операциях не обрабатывают в центрах.

**Планшайбы** применяют для закрепления заготовок, имеющих форму, неудобную для крепления в кулачковом патроне (например, кронштейны, рамки карданова подвеса и т. д.). Планшайба 1 (см. рис. 7.3, а) имеет форму диска, который наворачтывают на передний конец шпинделя 13. В радиально расположенные пазы 2 продевают болты 6 для крепления заготовки (или для крепления приспособления, в котором установлена заготовка).

**Оправки жесткие (цельные) и разжимные** применяют для закрепления заготовок типа втулок, колец и стаканов, имеющих чисто отделанное отверстие. На жесткую (цилиндрическую или коническую 4 на рис. 7.3, б) оправку заготовку напрессовывают, и она удерживается на оправке при обработке за счет силы трения. На разжимных оправках заготовки удерживаются за счет усилий, создаваемых разжимными упругими элементами. У цанговых оправок (см. рис. 7.3, в) такие элементы — это цанги 2, представляющие собой разрезные втулки, имеющие коническое отверстие. При завинчивании винта 4 в основание 1 цанги, его конус входит в коническое отверстие цанги 2, ее лепестки расходятся и закрепляют заготовку 3. Применяют упругие оправки с гидропластмассой (пастой поливинилхлорида), гофрированными втулками, тарельчатыми пружинами и т. д.

На токарно-револьверных станках, полуавтоматах и автоматах для закрепления заготовок часто используют цанговые патроны, так как на этих станках обрабатывают детали из заготовок в виде пруткового проката. Пруток вставляют в отверстие разрезной втулки, имеющей на своей наружной поверхности конус, который при зажиме прутка входит в коническое отверстие цельной втулки, и лепестки цанги сходятся.

Чтобы повысить жесткость закрепления заготовки при обработке на токарных станках применяют державку 8 (см. рис. 7.6, б), в которой смонтированы люнет 9 и резец 7. Эту державку закрепляют в резцедержателе суппорта станка. Вращающаяся заготовка 4 при обработке проходит через люнет 9, рядом с которым всегда расположен резец 7. Такая схема (люнет — инструмент) воспроизводится в автоматах фасонно-продольного точения.

#### 7.2.4. Работы, выполняемые на токарных станках

На токарных станках проводится как предварительная, так и чистовая обработка изделий.

**Предварительную** (или **черновую**) **обработку** проводят в целях снятия возможно большей части припуска и получения приближенной формы готового изделия с наименьшей затратой времени на обработку. В результате черновой обработки достигают шероховатости обрабатываемой поверхности  $Rz\ 320 \dots 80$  мкм и точности в пределах 11 — 13-го квалитетов.

При черновой обработке с применением обычных токарных резцов необходимо предусматривать следующее:

- возможность работы с максимальной глубиной резания ( $t$ , мм) с таким расчетом, чтобы весь припуск можно было бы снять за один рабочий ход режущего инструмента;
- возможность работы с наибольшими подачами ( $s$ , мм/об);
- в соответствии с установленными глубиной и подачей рассчитать оптимальную скорость резания ( $v$ ) исходя из обеспечения долговечности инструмента.

**Чистовая обработка** имеет целью получить окончательную форму изделия, обеспечив все технологические требования в отношении точности и шероховатости обработанной поверхности.

При чистовом точении можно получить шероховатость поверхности от  $Rz\ 40$  до  $Ra\ 1,25$  мкм и точность — 7 — 9-й квалитеты.

Требуемые шероховатости поверхностей и точность могут быть получены при чистовой обработке следующими способами:

- обычными токарными резцами (поз. 4 на рис. 7.2, в). При этом глубина резания не должна превышать 1 ... 2 мм, подача должна быть небольшой, в пределах 0,2 ... 0,4 мм/об, а скорость резания рекомендуют применять либо малую 4 ... 5 м/мин (0,666 ... 0,833 м/с), либо высокую — свыше 60 м/мин (1 м/с). В целях повышения производительности станка, как правило,

работают на высоких скоростях резания, применяя режущие инструменты, оснащенные пластинами из твердых сплавов.

Исключение — такие виды обработки, как развертывание отверстий, отделочные проходы при нарезании резьбы резцами и некоторые другие операции, которые выполняют при малых скоростях — 10... 12 м/мин (0,167... 0,2 м/с);

- широкими чистовыми токарными резцами (поз. 5 на рис. 7.2, в). Наличие широкой зачистной режущей кромки у этих резцов позволяет получить высокое качество обрабатываемой поверхности и при работе на больших подачах — до 1 мм/об. Глубину резания выбирают средней или повышенной ( $t \geq 2$  мм).

**Обтачивание цилиндрических наружных поверхностей** выполняют по двум схемам обработки:

- за одну или две установки (один рабочий ход на одну установку) резцом, заранее установленным на выдерживаемый диаметральный размер изделия и без перемещения резца в радиальном направлении;
- за несколько рабочих ходов резцом с перемещением его в поперечном направлении (обтачивание одной поверхности; обработка нескольких поверхностей ступенчатой заготовки).

Обработку гладких валиков осуществляют следующим образом: сначала подрезают один торец и обтачивают правый конец валика, затем переставляют заготовку для подрезки второго торца и обточка остальной части валика.

**Растачивание внутренних цилиндрических поверхностей** осуществляют расточными резцами, закрепленными в резцедержателе суппорта токарного станка с продольной подачей. Гладкие сквозные отверстия растачивают отогнутыми расточными проходными резцами 3 (см. рис. 7.7, а). Ступенчатые и глухие цилиндрические отверстия обрабатывают либо расточными упорными резцами 3 (см. рис. 7.7, б), закрепленными в резцедержателе 4, либо резцами 3, закрепленными в бортштанге 4 (см. рис. 7.7, в). Обычно после растачивания глухого отверстия на заданную длину продольную подачу выключают, включают поперечную и подрезают внутренний торец (включая дно) отверстия. На токарных станках отверстия также обрабатывают сверлами (см. рис. 7.7, г), зенкерами и развертками, закрепленными в пиноли задней бабки.

**Обработку конических поверхностей** проводят следующими (четырьмя) способами (рис. 7.10) (а также с помощью гидрокопировального суппорта).

1. *Широким фасонным резцом 4* (рис. 7.10, а). Режущая кромка резца должна быть установлена наклонно к линии центров станка

параллельно образующей конической поверхности (у круглого резца режущая кромка представляет собой отрезок гиперболы).

Подача резца может быть как продольной, так и поперечной. Данный способ пригоден для обработки коротких наружных и внутренних конических поверхностей с длиной образующей не более 25 мм, так как при больших длинах образующей возникают вибрации, резец изнашивается неравномерно, это изменяет угол конуса, прямолинейность образующей и приводит к получению низкого качества обработанной поверхности.

2. *Поворотом салазок верхнего суппорта* (рис. 7.10, б). Салазки верхнего суппорта 5 поворачивают вокруг вертикальной оси суппорта на угол конусности  $\alpha$  с помощью лимба 4, при этом

$$\operatorname{tg} \alpha = (d_1 - d_2) / (2l),$$

где  $d_1, d_2, l$  — соответственно наибольший и наименьший диаметры и длина образующей конуса.

Обточку конической поверхности 7 осуществляют вручную, перемещая резец 6 вдоль образующей конуса путем поворота ходового винта верхних салазок суппорта с помощью маховичка 3. Этим способом обрабатывают как наружные, так и внутренние поверхности с любым углом конусности  $\alpha$ , с длиной обработки меньше, чем величина хода верхних салазок суппорта. Точность и качество поверхности невысокие из-за ручной подачи инструмента.

3. *Смещением корпуса задней бабки* (вид сверху на рис. 7.10, в). Корпус задней бабки 6 смещают по нижней ее плите 18 (см. рис. 7.1) в поперечном направлении на величину  $h$  (см. рис. 7.10, в), в результате ось заготовки 4, установленной в опорном 2 и шариковом 5 центрах, образует с линией центров угол конусности обрабатываемой поверхности  $\alpha$ . Образующая конической поверхности располагается параллельно продольной подаче резца 7.

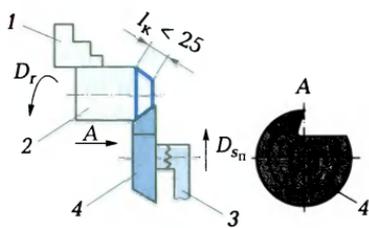
При длине образующей конуса  $l$  и длине заготовки  $L$  величину необходимого смещения корпуса задней бабки определяют по формуле  $h = L \sin \alpha$ .

Из подобия треугольников  $ABC$  и  $A'B'C'$

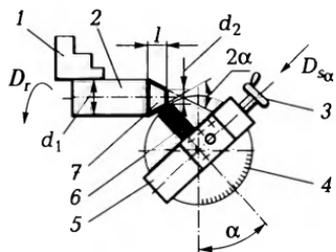
$$h = \frac{d_1 - d_2}{2} \frac{L}{l} \cos \alpha.$$

Путем смещения задней бабки обрабатывают лишь конусы с углом  $\alpha$  не более  $8^\circ$ . Так как  $\cos 8^\circ = 0,991$ , можно принять

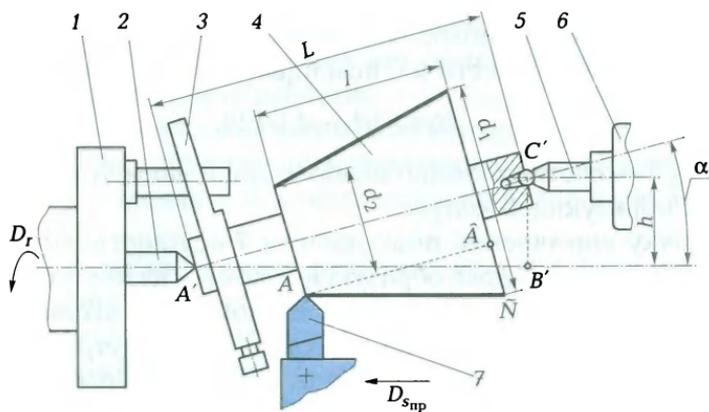
$$h \approx \frac{d_1 - d_2}{2} \frac{L}{l}.$$



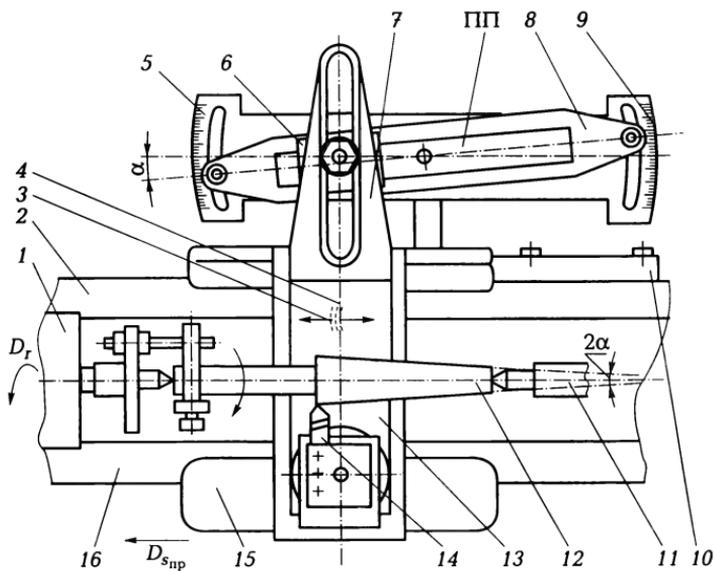
a



б



B



r

Рис. 7.10. Схемы обработки конических поверхностей на токарно-винторезном станке:

*a* — широким фасонным резцом: 1 — патрон; 2 — заготовка; 3 — державка; 4 — резец фасонный круглый;  $l_k$  — длина образующей конуса; *b* — поворотом салазок верхнего суппорта: 1 — патрон; 2 — заготовка; 3 — маховичок; 4 — лимб; 5 — верхний суппорт; 6 — резец проходной прямой; 7 — обрабатываемая коническая поверхность;  $d_1, d_2$  — наибольший и наименьший диаметры конуса;  $\alpha$  — угол конуса; *v* — смещением (вид сверху) корпуса задней бабки: 1 — поводковый патрон; 2 — центр опорный; 3 — хомутик; 4 — заготовка; 5 — центр с шариковым наконечником; 6 — корпус задней бабки; 7 — резец; *г* — с помощью копировальной конусной линейки: 1 — передняя бабка; 2 — станина; 3 — гайка; 4 — винт подачи поперечного суппорта; 5 и 9 — шкалы; 6 — ползун; 7 — тяга; 8 — копировальная конусная линейка; 10 — кронштейн; 11 — задняя бабка; 12 — заготовка; 13 — поперечный суппорт; 14 — резец; 15 — продольный суппорт; 16 — направляющие станка; ПП — прямолинейный паз

При  $L = lh \approx (d_1 - d_2)/2$ .

Вращательное движение заготовке сообщается при помощи поводкового патрона 1 и хомутика 3. Недостатком этого способа является то, что вследствие неправильного расположения центров станка в центровых отверстиях заготовки и центровые отверстия, и сами центры быстро изнашиваются, а у обработанной поверхности не получается круглого сечения.

4. С помощью копировальной конусной линейки (рис. 7.10, г). Конусная линейка 8 расположена на кронштейне 10, закрепляемом на станине 2 с противоположной стороны от рабочего места. На кронштейне 10 имеются шкалы 5 и 9, при помощи которых линейку устанавливают под углом  $\alpha$  к оси обрабатываемой заготовки 12.

На линейке свободно сидит ползун 6, соединенный тягой 7 с поперечным суппортом 13, которому в этом случае дается свободное поперечное перемещение за счет отсоединения его от винта поперечной подачи 4 либо путем вывинчивания этого винта, либо путем отсоединения его гайки 3. При движении продольного суппорта 15 по направляющим 16 станины 2 ползун 6 перемещается по прямолинейному пазу (ПП) в линейке 8 и тягой 7 перемещает поперечный суппорт 13, благодаря чему вершина резца 14 перемещается параллельно ПП наклоненной линейки 8 вдоль образующей обрабатываемой конической поверхности.

Этот метод применяют для точной обточки конических поверхностей с углом конусности  $\alpha$  до  $12^\circ$ .

**Обработку коротких фасонных поверхностей** (длиной не более 20...30 мм) проводят фасонными резцами: стержневыми (см. поз. 6, 7, 8 на рис. 7.6, а), призматическими, круглыми и тангенциальными (см. поз. 3 на рис. 7.8, а, б, в).

Этими резцами фасонные поверхности обтачивают только с поперечной подачей  $D_{\text{п}}$  при вращательном движении заготовки  $D_r$ .

На токарно-винторезных станках фасонные поверхности, как правило, обтачивают только стержневыми резцами, а токарных автоматах и полуавтоматах — резцами остальных видов.

Стержневые резцы устанавливают и закрепляют в резцедержателе токарного станка, а круглые, призматические и тангенциальные в специальных резцедержателях. Фасонные резцы устанавливают относительно упора (базы) (см., например, поз. 6 на рис. 7.8, а), параллельной оси заготовки.

Если передний угол положительный ( $\gamma > 0$ ), то стержневые, круглые и призматические резцы устанавливают одной точкой на высоте центров, а остальные точки главной режущей кромки расположены при этом ниже этой плоскости, что приводит к погрешности  $\Delta_1$  (например, вместо цилиндра или конуса на заготовке обрабатывается гиперboloид). Для устранения этой погрешности необходимо, чтобы при установке этих резцов режущее лезвие всеми точками было расположено в одной плоскости с осью заготовки, т. е. чтобы  $\gamma = 0$ . У круглого резца добавляется погрешность  $\Delta_2$  из-за того, что его передняя поверхность не лежит в плоскости, проходящей через ось резца. Так, круглый резец для обработки конической поверхности представляет собой усеченный конус, пересеченный плоскостью (передней поверхностью), параллельной оси конуса, но не проходящей через его ось. Следовательно, режущая кромка, которая является линией пересечения этих двух поверхностей, представляет собой гиперболу, а фасонная поверхность резца имеет форму выпуклого гиперboloида. Эта выпуклость и есть погрешность  $\Delta_2$ , и в среднем она в 10 раз больше величины  $\Delta_1$ . Поэтому при высоких требованиях к точности обработки следует применять стержневые или призматические резцы.

Тангенциальные резцы устанавливают ниже линии центров станка так, чтобы каждая точка режущей кромки резца при поперечной подаче проходила касательно к соответствующей точке фасонной поверхности обрабатываемой заготовки. Резец, проходя под заготовкой, обрабатывает фасонную поверхность до требуемых размеров, т. е. *напроход*. Тангенциальные резцы применяют в основном при чистовой обработке длинных нежестких заготовок, так как обработка происходит не сразу по всей ее длине, а постепенно.

Круглые, призматические и тангенциальные резцы более стойки, выдерживают значительно большее число переточек, чем стержневые (при сохранении формы и размеров режущего лезвия).

**Обработку длинных фасонных поверхностей** проводят проходными резцами с продольной подачей с помощью фасонного копира 1 с криволинейным пазом (КП) (рис. 7.11, а), устанавливаемого вместо конусной линейки (см. поз. 8 на рис. 7.10, г).

В средне- и крупносерийном производстве для обработки фасонных поверхностей на токарных станках используют специальный гидрокопировальный суппорт вместо поперечного суппорта. Упрощенная схема работы (вид в плане) гидросуппорта показана на рис. 7.11, б. Шток 24 гидросуппорта при помощи кронштейна 22 жестко

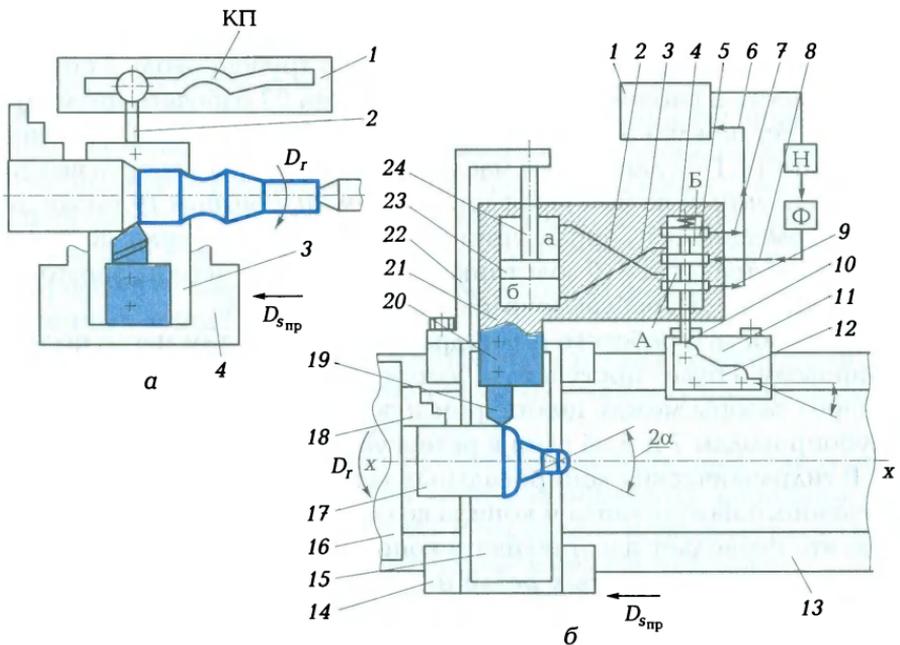


Рис. 7.11. Схемы обтачивания фасонных поверхностей:

а — с перемещением поперечного суппорта от копира: 1 — копира с криволинейным пазом (КП); 2 — тяга; 3 — поперечный суппорт; 4 — продольный суппорт; б — с гидрокопировальным суппортом вместо поперечного — вид в плане: 1 — резервуар; 2 и 3 — трубопроводы; 4 — пружина; 5 — золотник; 6—9 — трубопроводы; 10 — толкатель золотника; 11 — кронштейн; 12 — копира; 13 — станина; 14 — продольный суппорт; 15 — поперечный суппорт; 16 — передняя бабка; 17 — заготовка; 18 — патрон; 19 — резец; 20 — резцедержатель; 21 — корпус гидросуппорта; 22 — кронштейн; 23 — поршень; 24 — шток; а, б, А, Б — полости соответственно рабочего и золотникового цилиндров; Н — насос; Ф — фильтр

закрепляется на продольном суппорте 14. Заготовка 17 закрепляется в трехкулачковом патроне 18 и обрабатывается резцом 19, укрепленным на резцедержателе 20 гидросуппорта. Корпус 21 гидросуппорта получает движение продольной подачи  $D_{\text{сп}}$  от продольного суппорта 14 станка, которому сообщается подача от ходового валика (см. поз. 20 на рис. 7.1). На кронштейне (см. поз. 11 на рис. 7.11, б), жестко укрепленном на станине 13, установлен копир 12, профиль которого соответствует профилю обрабатываемой фасонной поверхности. При движении продольного суппорта по направляющим станины 13 толкатель 10 золотника 5 будет скользить по поверхности копира 12, к которой он прижимается при помощи пружины 4, и перемещаться в направлении от оси  $x-x$  центров станка. В результате между средним поршнем золотника 5 и корпусом золотникового цилиндра образуется зазор, через который рабочая жидкость (масло) от насоса Н через фильтр Ф по трубопроводу 8 подается в полость А золотникового цилиндра откуда затем по трубопроводу 2 попадает в полость а рабочего цилиндра. Поршень 23 рабочего цилиндра жестко установлен на штоке 24, который закреплен на продольном суппорте 14. Под давлением масла корпус 21 гидросуппорта вместе с закрепленным на нем резцедержателем 20 и резцом 19 также будут перемещаться в направлении от оси  $x-x$  центров станка, повторяя движение толкателя 10 золотника 5, в результате чего на заготовке обрабатывается требуемая фасонная поверхность.

Из полости б рабочего цилиндра находящееся там масло по трубопроводу 3 будет поступать в полость Б золотникового цилиндра и через зазоры между цилиндром и золотником будет уходить по трубопроводам 7 и 9 на слив в резервуар 1.

В гидравлических копировальных устройствах в месте контакта рычажного наконечника и копира возникают незначительные усилия, что позволяет изготавливать копиры из мягких материалов.

**Нарезание наружных резьб** на токарно-винторезных станках проводят резцами, гребенками (см. далее), круглыми плашками, резцовыми головками («вихревой метод»), а внутренние резьбы нарезают резцами, гребенками и метчиками.

Ходовые винты дают возможность обрабатывать резьбы с высокой точностью по шагу и облегчают рабочему установку резца после его холостого хода в нитку резьбы при обработке ее за несколько рабочих ходов.

Круглыми плашками и метчиками можно нарезать резьбы и на токарных станках, не имеющих ходового винта.

Резьбовые резцы и гребенки применяют при нарезании точных наружных резьб, а также в индивидуальном производстве при

отсутствии другого (более производительного) резьбонарезного инструмента.

При нарезании резьб употребляют резцы *стержневые, круглые и призматические*.

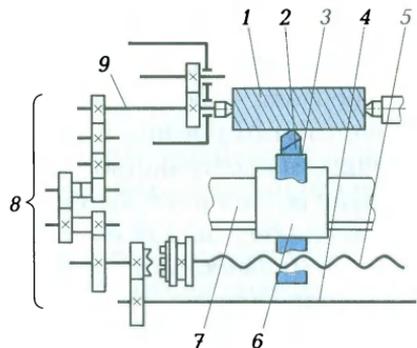
Резьбовые резцы могут быть *однониточными* и *многониточными*, последние обычно называются *гребенками*. Нарезание однониточным резьбовым резцом является малопроизводительной операцией, потому что для полного нарезания ниток необходимо сделать большое число проходов. Благодаря наличию нескольких зубцов гребенка не требует столь большого числа проходов, как однониточный резьбовой резец, и обеспечивает соответственно большую производительность. Согласование подачи резца и вращения заготовки при нарезании резьбы на токарно-винторезных станках осуществляют жесткой кинематической связью *8* (рис. 7.12) вращения шпинделя *9* с вращениями обрабатываемой заготовки *1* и ходового винта *5*, служащего для подачи суппорта *6* с резцом *2* в продольном направлении. При этом одному обороту шпинделя *9* (а следовательно, и заготовки *1*) должно соответствовать перемещение продольного суппорта *6* (а значит, и вершины резца *2*) на величину шага нарезаемой резьбы  $P_{н.р.}$ . Необходимую величину перемещения резца *2* за каждый оборот шпинделя *9* устанавливают с помощью передач и реверсивного механизма коробки подач станка и набора сменных зубчатых колес.

Резьбовой резец должен быть заточен точно в соответствии с заданным профилем нарезаемой резьбы. Установку его проводят по специальному шаблону (рис. 7.13, а).

Биссектриса угла профиля резца должна быть перпендикулярна оси нарезаемого винта. При чистовой обработке передний угол резца должен быть равен нулю, а переднюю поверхность его устанавливают в плоскости, проходящей через ось заготовки.

Рис. 7.12. Схема нарезания наружной резьбы резцом на токарно-винторезном станке:

*1* — заготовка; *2* — резьбовой резец; *3* — резцедержатель на поперечном суппорте; *4* — ходовой валик; *5* — ходовой винт; *6* — продольный суппорт; *7* — направляющие станины станка; *8* — жесткая кинематическая связь; *9* — шпиндель



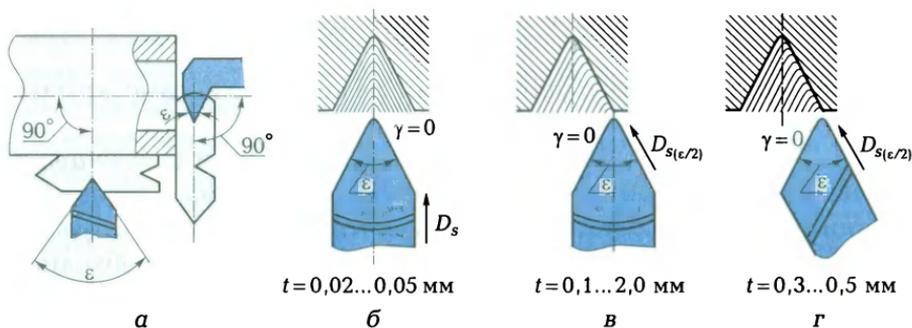


Рис. 7.13. Схема установки резьбового резца по шаблону (а) и способы врезания резца при нарезании наружной резьбы в радиальном (б) и параллельном боковому профилю резьбы (в, г) направлениях:  
 $\epsilon$  — угол при вершине резца;  $\gamma$  — передний угол;  $t$  — глубина резания

Точность шага резьбы зависит в основном от шага ходового винта токарно-винторезного станка.

**Нарезание резьбы односточными резцами** (см. рис. 7.8, г) выполняют за несколько проходов. При этом для осуществления серии проходов применяют две схемы врезания: в радиальном направлении (рис. 7.13, б) и в направлении, параллельном боковому профилю резьбы (рис. 7.13, в, г).

При врезании в радиальном направлении в резании участвуют одновременно правая и левая режущие кромки головки резца. Это затрудняет процесс стружкообразования, требует значительных усилий при резании и вызывает интенсивный износ вершины резца.

При врезании с подачей резца параллельно боковому профилю резьбы резание осуществляют только одной гранью и вершиной резца. Это создает более благоприятные условия процесса, но в этом случае понижается точность профиля. Вторую схему подачи на глубину применяют для черновых проходов или для нарезания резьбы с грубой поверхностью. Метрическую резьбу крупного шага чаще нарезают по комбинированной схеме.

Гребенки — более производительный резьбовой инструмент, чем односточные резцы. При нарезании гребенкой необходимо обеспечивать пространство для выхода гребенки, которое должно быть больше ее заборной части. Поэтому гребенками обычно нарезают сквозные резьбы как внутренние, так и наружные. При нарезании резьбы гребенками необходимо обеспечивать соответствие шагов гребенки и копира, в противном случае качество резьбы ухудшается. Шаг гребенок для мелких резьб с целью повысить точность их из-

готовления и измерения делают часто большим, но кратным шагу нарезаемой резьбы. Такая гребенка будет более точна, но менее производительна, так как число режущих лезвий на той же длине заборной части будет меньше.

Гребенками оснащают резьбонарезные головки, которые применяются в серийном и массовом производстве и имеют следующие *гостинства*: позволяют устранить холостой ход на свинчивание; обеспечивают точность нарезания резьбы до 6–7-го квалитетов; резьбу, как правило, нарезают за один проход; допускают большое число переточек резьбовых гребенок, что удлинит срок их работы. В зависимости от конструкции режущего инструмента резьбонарезные головки подразделяют на головки с плоскими радиальными гребенками (рис. 7.14, а); с круглыми гребенками (рис. 7.14, б); с тангенциальными гребенками (рис. 7.14, в).

Резьбонарезные головки с круглыми гребенками получили наибольшее распространение. Их применяют на автоматах, револьверных и сверлильных станках. Такие головки обеспечивают наибольшую точность нарезаемой резьбы и допускают большое число переточек гребенок.

**Нарезание точной (отсчетной) резьбы с помощью коррекционной линейки** проводят на токарно-винторезном станке, поскольку на точность шага резьбы влияют точность шага ходового винта, а также точность изготовления и сборки зубчатых колес винторезной цепи. Для компенсации погрешности шага применяют специальную коррекционную линейку 7 (рис. 7.14, г), профиль которой строят по результатам проверки точности перемещения суппорта относительно вращающейся заготовки.

При вращении шпинделя 1 с заготовкой 2 вращается ходовой винт 8. Маточная гайка 4 через рычаг упирается в коррекционную линейку 7. В зависимости от профиля линейки (подъем или спад) маточная гайка 4 (кроме продольного перемещения) имеет дополнительно доворот в ту или другую сторону, соответственно ускоряя или замедляя продольное движение суппорта, несущего резцедержатель 3.

Таким образом, шаг нарезаемой резьбы получается равномерным; точность обработки — 5-й квалитет.

**Нарезание многозаходной резьбы** требует точного углового деления обрабатываемой заготовки при переходе от одной нитки нарезаемой резьбы к другой.

Точные многозаходные резьбы (например, многозаходные окулярные резьбы, многозаходные червяки), подобно резьбам однозаходным, чаще всего нарезают на точных токарно-винторезных

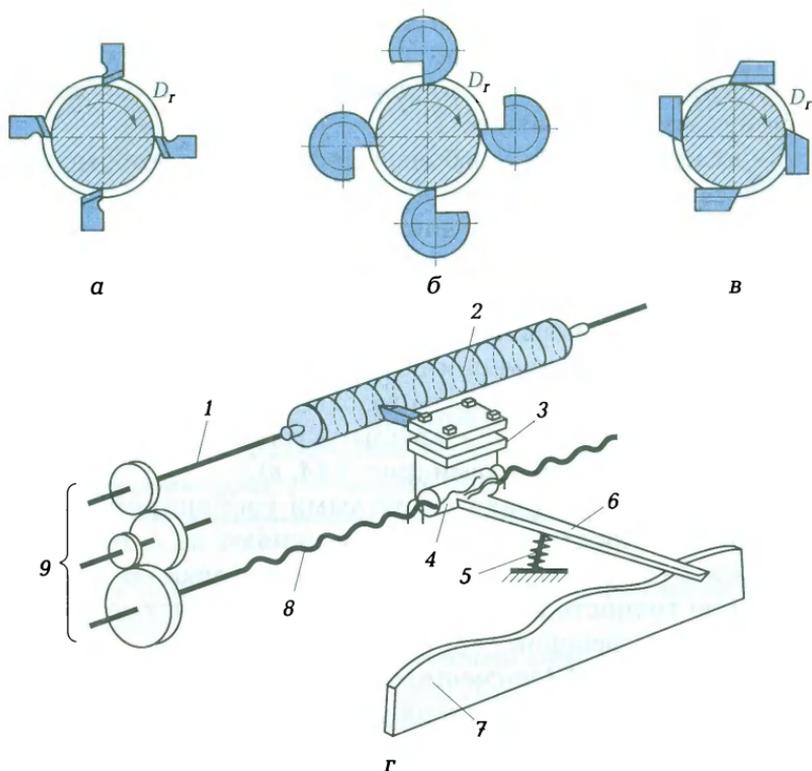


Рис. 7.14. Схемы нарезания резьб на токарно-винторезном станке:

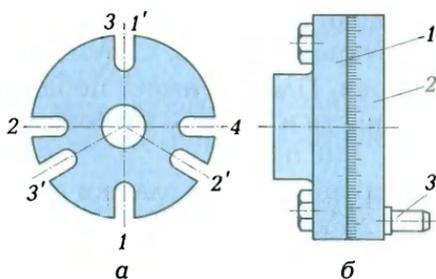
*а, б, в* — с применением резьбонарезных головок, оснащенных плоскими радиальными, круглыми, тангенциальными гребенками соответственно; *г* — с применением коррекционной линейки: 1 — шпиндель; 2 — заготовка; 3 — резцедержатель; 4 — маточная гайка; 5 — пружина; 6 — рычаг; 7 — коррекционная линейка; 8 — ходовой винт; 9 — гитара деления

станках, причем деление на заходы можно осуществлять одним из следующих способов.

1. Перестановкой одного из зубчатых колес винторезной цепи на необходимое число зубьев. При этом шпиндель с заготовкой поворачивают на  $1/k$  оборота, где  $k$  — число заходов резьбы. Чаще всего делительным зубчатым колесом является ведущее зубчатое колесо шпинделя. В этом случае число его зубьев должно быть кратно числу заходов нарезаемой резьбы. Этот способ достаточно точен, но малопроизводителен. Для увеличения производительности применяют либо поводковые патроны (рис. 7.15, *а*) с числом прорезей, равным числу заходов резьбы (после прорезки одного захода заготовку с хомутиком поворачивают и ориентируют по другому

Рис. 7.15. Патроны для нарезания многозаходных резьб:

*a* — поводковый патрон: *1'*, *2'*, *3'* и *1*, *2*, *3* и *4* — пазы для нарезания соответственно трех- и четырехзаходных резьб; *б* — градуированный патрон: *1* — неподвижная часть; *2* — поворотная часть; *3* — поводок



прорезу патрона), либо специально градуированные патроны (рис. 7.15, *б*) с поворотной передней частью *2*, позволяющие проводить поворот заготовки на любой угол.

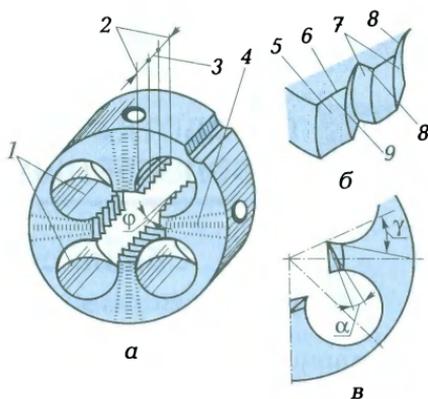
2. Перемещением верхних салазок суппорта после прорезки одного захода в осевом направлении на величину, равную шагу резьбы. Этот способ достаточно производителен, но не обеспечивает высокой точности деления на заходы. Для повышения точности перемещения салазок применяют индикаторы, контролирующие точность перемещения.

3. Применением многониточных резьбовых гребенок. В этом случае все заходы резьбы нарезают одновременно. Ход резьбы обеспечивают подачей суппорта, шаг — шагом гребенки. Производительность способа ограничена необходимостью достаточного пространства для выхода гребенки; значительными деформациями вследствие многониточного резания; трудностью точного изготовления гребенок.

Круглые плашки предназначены для нарезания наружных резьб и содержат режущие перья *4* и стружечные окна *1* (рис. 7.16, *a*).

Рис. 7.16. Круглая плашка:

*a* — плашка; *б* — режущие поверхности и кромки; *в* — стружечное окно и режущие перья: *1* — стружечные окна; *2* — заборные части; *3* — калибрующая часть; *4* — режущие перья; *5*, *6*, *7* — соответственно задние, передние и профильные поверхности; *8*, *9* — соответственно боковые и главные режущие кромки



Вдоль режущего пера расположены заборные части 2 и калибрующая часть 3. Стружечные окна образуют режущие перья плашки. Плашка имеет передние 6, задние 5, профильные 7 поверхности и главные 9 и боковые 8 (профильные) режущие кромки (рис. 7.16, б).

Заборные части плашки выполняют в виде внутреннего конуса; угол  $2\varphi$  конуса берут в пределах  $40 \dots 60^\circ$  (меньшее значение для твердых материалов).

Для увеличения срока службы режущие части делают с обеих сторон плашки. Длина калибрующей части 3 для нормальных резб составляет 4 – 4,5 витка.

Геометрические параметры плашек — задний угол  $\alpha$  порядка  $7 \dots 9^\circ$  (рис. 7.16, в); передний угол  $\gamma$  (при обработке чугуна и бронзы равен  $10 \dots 20^\circ$ , а для мягкой стали  $\gamma$  доходит до  $25^\circ$ ); угол наклона режущего лезвия также равен  $7 \dots 10^\circ$ .

Новая плашка при нормальных условиях работы должна нарезать резьбу 6-го качества; практически достижимая точность изготовления резьбы круглой плашкой соответствует 7-му качеству.

Круглые плашки изготавливают в основном двух видов: разрезные или регулируемые по диаметру, и неразрезные. Последние гораздо надежней и обеспечивают получение более правильной и чистой резьбы, чем разрезные, так как наличие прореза часто вызывает перекосяк режущих кромок и порчу резьбы. Разрезные плашки регулируют по образцовому винту, который должен свободно ввинчиваться от руки в отрегулированную плашку.

**Нарезание внутренних резб** на токарных станках проводят, применяя расточные стержневые (см., например, поз. 3 на рис. 7.8, г) и круглые стержневые (см., например, поз. 3 на рис. 7.8, б) резцы, закрепляемые в специальных державках. Процесс проводят подобно нарезанию наружных резб резцами.

Метчиками также можно обрабатывать внутренние резьбы на токарных станках.

## 7.3. ОБРАБОТКА ЗАГОТОВОК НА ТОКАРНО-РЕВОЛЬВЕРНЫХ СТАНКАХ

### 7.3.1. Общие сведения о токарно-револьверных станках

Токарно-револьверные станки — это высокопроизводительные универсальные станки, предназначенные для изготовления дета-

лей различной конфигурации. На токарно-револьверных станках можно обтачивать поверхности, сверлить и растачивать отверстия, нарезать внутреннюю и наружную резьбы.

Детали можно изготавливать из прутков любого профиля, а также из отливок, поковок и заготовок, предварительно обработанных на других станках.

Токарно-револьверные станки предназначены главным образом для заводов массового и серийного производства.

Модели револьверных станков: 1Н318, 1341, 1365, 1А365, 1П371 и т. д. Точность обработки наружных поверхностей достигает 9–10-го квалитетов, шероховатость поверхности —  $Ra$  2,5 мкм, а при обработке отверстий — 7-го квалитета и  $Ra$  1,25 мкм.

Выпускаемые отечественной промышленностью токарно-револьверные станки классифицируют:

- по оси расположения револьверной головки: вертикальное (например, станок мод. 1П365), горизонтальное (например, станок мод. 1341) и наклонное (например, станок мод. С193А);
- по виду обрабатываемых заготовок: для прутковых или патронных работ.

Станки, предназначенные для прутковых работ, характерны наибольшим диаметром отверстия в шпинделе. Эти станки имеют устройства для подачи и зажима пруткового материала.

Станки для патронных работ предназначены для обработки кованых, литых и штампованных заготовок. Станок для патронных работ характеризуют наибольшим размером обрабатываемой заготовки. На шпиндель данных станков устанавливают трех- и четырехкулачковые патроны, с гидравлическим или ручным приводом зажима заготовки, а также планшайбы.

На револьверных станках, предназначенных для прутковых работ, также можно обрабатывать заготовки кованые, штампованные и литые, но при условии замены устройства для подачи и зажима материала на патрон. На револьверных станках, предназначенных для патронных работ, можно обрабатывать прутковый материал, заменив патрон или планшайбу устройством для подачи и зажима прутка.

Во всех случаях выбор станка для обработки заготовок проводится на основе технической характеристики станка.

На рис. 7.17 показаны упрощенные общие виды токарно-револьверных станков.

Станки с наклонной (рис. 7.17, а) и вертикальной (рис. 7.17, б) осями поворота револьверной головки имеют револьверный суппорт 5 с револьверной головкой 4 и поперечный суппорт 3 с двумя

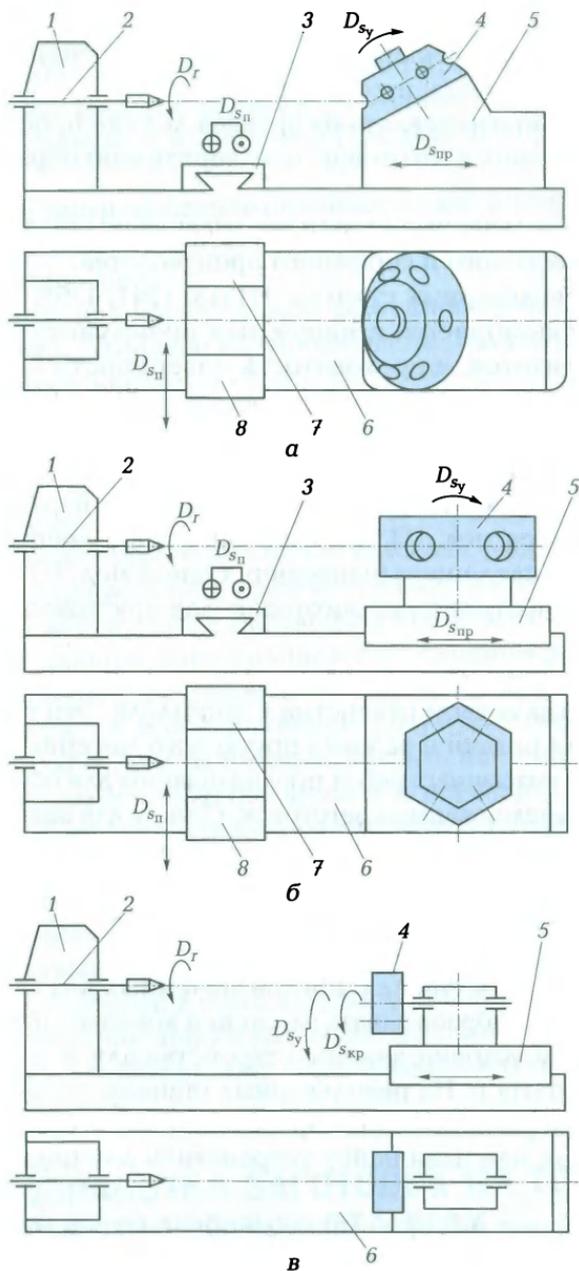


Рис. 7.17. Упрощенные общие виды токарно-револьверных станков:

а, б, в — соответственно с наклонной, вертикальной и горизонтальной осями поворота револьверной головки: 1 — передняя бабка; 2 — шпиндель; 3 — поперечный суппорт; 4 — револьверная головка; 5 — револьверный суппорт; 6 — станина 7 и 8 — соответственно задний и передний резцедержатели

резцедержателями: передним 8 и задним 7. На поперечном суппорте можно расположить шесть инструментов: четыре на переднем резцедержателе и два — на заднем. Число гнезд для инструментов в револьверной головке — 5–6.

Станки с горизонтальной (рис. 7.17, в) осью поворота револьверной головки не имеют поперечного суппорта, а имеют один револьверный суппорт 5, поэтому револьверная головка 4 может совершать не только продольную подачу, но и поперечную (круговую), осуществляемую поворотом головки.

На токарно-револьверных станках обрабатывают заготовки с применением разнообразных нормальных, специальных и комбинированных инструментов в условиях единичного и серийного производства. Револьверные станки позволяют обрабатывать партию заготовок без пробных проходов и промеров за одну установку заготовки, не меняя настройки станка.

Производительность обработки значительно повышается благодаря сокращению:

- машинного времени (применению многолезцовых державок, комбинированных инструментов; совмещению работы револьверного и поперечного суппортов);
- вспомогательного времени (применению быстродействующих механизмов подачи и зажима заготовки, смене инструмента за счет поворота револьверной головки, что составляет примерно 1,2 с; работе по принципу полуавтоматического получения размера на настроенных станках, т. е. работе с использованием продольных и поперечных упоров и т. д.).

Подготовительно-заключительное время в этом случае больше, чем при работе на токарных станках, так как больше времени затрачивается на настройку станка и установку инструмента, поэтому оптимальный размер партии определяют путем расчета.

Наладка револьверного станка включает в себя следующие этапы:

- подбор и рациональная установка инструментов в отдельных державках;
- установка оснащенных инструментами державок и отдельных инструментов в револьверной головке и в резцедержателе поперечного суппорта в соответствии с технологическим процессом обработки детали;
- установка упоров продольной и поперечной подачи и регулировка инструментов в осевом и радиальном направлениях;
- установка заготовок и обработка пробных деталей. Инструменты устанавливают либо непосредственно в гнездах револьверной го-

ловки, либо с помощью специальных державок, которые в свою очередь закрепляют в гнездах револьверной головки.

На револьверных станках, имеющих поперечный суппорт, все инструменты, работающие с поперечной подачей (отрезные, подрезные и другие резцы), закрепляют в резцедержателях поперечных суппортов.

### **7.3.2. Работы, выполняемые на токарно-револьверных станках**

На токарно-револьверных станках обрабатывают детали типа втулок, ступенчатых валиков, фланцев, колец, гаек, болтов и т. д. На этих станках выполняют практически все те же виды работ, что и на токарных: обтачивают наружные цилиндрические поверхности, подрезают торцы, сверлят, зенкеруют и развертывают отверстия, растачивают внутренние цилиндрические поверхности, обтачивают фасонные поверхности, протачивают канавки, фаски, галтели, накатывают рифления, нарезают наружные (плашками и резьбонарезными головками) и внутренние (метчиками и резьбонарезными головками) резьбы. Если станок имеет ходовой винт, можно нарезать резьбы резцами и гребенками.

При нарезании резьбы плашками и метчиками применяют специальные державки, обеспечивающие свободное осевое перемещение этих инструментов при рабочем ходе суппорта. После нарезания резьбы включают обратное вращение шпинделя для свинчивания плашки или вывинчивания метчика. Специальные патроны для автоматического открывания плашек раздвигают плашки и освобождают заготовку.

Резьбонарезные головки с плоскими радиальными (см. рис. 7.14, а), круглыми (см. рис. 7.14, б) или тангенциальными (см. рис. 7.14, в) гребенками применяют в серийном и массовом производстве.

Резьбонарезные головки в основном применяют для резьб М4 – М60.

Резьбонарезные головки с круглыми гребенками наиболее распространены. Они обеспечивают наибольшую точность нарезаемой резьбы и допускают наибольшее число переточек гребенок.

Конические поверхности обтачивают широкими резцами или с помощью специальных копировальных приспособлений, закрепляемых на станке, в револьверной головке или на поперечном суппорте.

Заменяв копировальную линейку шаблоном с криволинейным профилем, можно обработать фасонную поверхность на заготовке. Обработка фасонных поверхностей проводится также фасонными резцами с поперечной подачей.

На станине станка, в револьверной головке и на поперечном суппорте можно устанавливать приспособления, позволяющие выполнять самые различные работы: например, расточку внутренней сферической поверхности, прорезку внутренней канавки и т. д. Приспособления крепят в гнездах револьверной головки, которую при выполнении каждого перехода подают до упора и закрепляют на станине, затем вращением рукоятки через передаточный механизм приспособления инструмент подается для обработки поверхности.

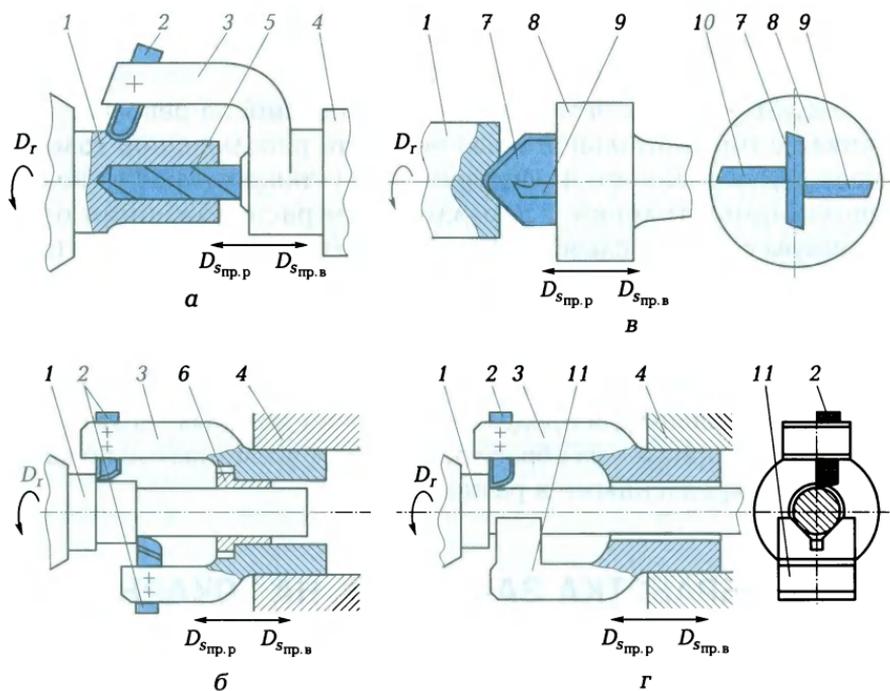


Рис. 7.18. Упрощенные схемы обработки заготовок на револьверных станках:

*a* — резцом и сверлом; *б* — двумя резцами и лунетной втулкой; *в* — комбинированным инструментом; *г* — резцом с применением лунета: 1 — заготовка; 2 — резец; 3 — державка; 4 — револьверная головка; 5 — сверло; 6 — лунетная втулка; 7 — плоское сверло; 8 — оправка; 9 и 10 — ножи; 11 — лунет (медная призма);  $D_{спр.р}$ ,  $D_{спр.в}$  — соответственно рабочая и вспомогательная продольная подача

На револьверных станках можно проводить работы одновременно несколькими инструментами. Сверление часто совмещают с продольным обтачиванием (рис. 7.18, а), у ступенчатых валов одновременно обтачивают несколько поверхностей (рис. 7.18, б) и т.д. На станках с вертикальной и наклонной осями поворота револьверной головки следует обрабатывать заготовки одновременно режущими инструментами, установленными в поперечном суппорте и револьверной головке.

Уменьшению машинного времени обработки способствует также применение комбинированного инструмента (например, на рис. 7.18, в показан комбинированный инструмент для зацентровки отверстия и подрезки торца заготовки 1, представляющий собой оправку 8 с закрепленными на ней плоским сверлом 7 и ножами 9 и 10).

Одновременно работающие резцы располагают так, чтобы усилия резания уравновешивались (см. рис. 7.18, б). При снятии припуска за один проход у недостаточно жестких заготовок работу осуществляют с люнетом (рис. 7.18, г).

Следует отметить, что выполнение операций на револьверных станках с горизонтальной осью поворота револьверной головки имеет ряд особенностей. Инструменты устанавливают в гнездах револьверной головки с параллельным расположением осей. Диаметры гнезд револьверной головки различны. Сдвоенное (продолговатое) гнездо необходимо для отрезки длинных деталей, когда обработанную заготовку пропускают через гнездо и отрезают резцом, закрепленным в соседнем гнезде, методом врезания, т.е. вращением револьверной головки. Гнезда большого диаметра могут быть использованы для продольной обточки длинных заготовок из прутка, когда припуск на обработку снимают последовательно двумя резцами, закрепленными в разных гнездах.

## 7.4. ОБРАБОТКА ЗАГОТОВОК НА ТОКАРНЫХ АВТОМАТАХ

---

### 7.4.1. Общие сведения о токарных автоматах

**Автоматами** называют станки, на которых после их наладки обработка заготовок проходит без участия рабочего. Обычно рабочий обслуживает группу станков-автоматов (до десяти). В обязан-

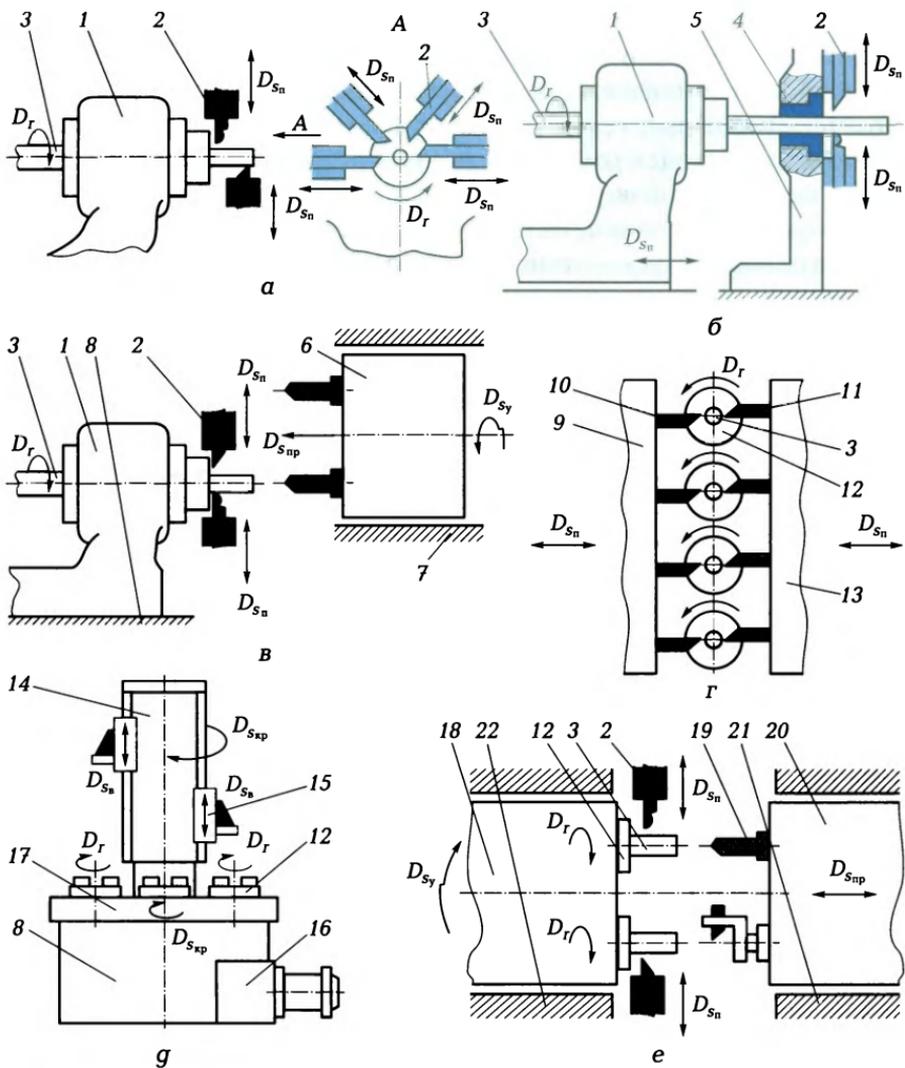


Рис. 7.19. Схемы работы одношпиндельных (а-в) и многошпиндельных (г-е) автоматов:

а — фасонно-отрезного; б — продольно-фасонного; в — пруткового токарно-револьверного; г — фасонно-отрезного; г — непрерывного действия; е — последовательного действия: 1 — шпиндельная бабка; 2 — поперечный суппорт; 3 — заготовка; 4 — люнетная втулка; 5 — люнетная стойка; 6 — револьверная головка; 7 — револьверный суппорт; 8 — станина; 9 — передний поперечный суппорт; 10 — обрабатывающие резцы; 11 — отрезные резцы; 12 — шпиндели; 13 — задний поперечный суппорт; 14 — колонна; 15 — вертикальные суппорты; 16 — привод станка; 17 — карусель; 18 — шпиндельный блок; 19 — каретки с инструментами; 20 — осевой суппорт; 21 — задняя стойка; 22 — передняя стойка

ности рабочего входит периодическая загрузка станка материалами (прутками, заготовками).

**Полуавтоматами** называют станки, у которых все движения автоматизированы, кроме установки заготовки и снятия готовой детали, проводимых рабочим.

По виду заготовок различают автоматы для изготовления деталей из бунта проволоки, из пруткового материала (прутковые) и из штучных заготовок — отливок, штамповок, поковок (магазинные автоматы).

Все автоматы и полуавтоматы подразделяют на одношпиндельные и многошпиндельные, а по расположению шпинделей — на горизонтальные и вертикальные.

На одношпиндельных автоматах обработку заготовок проводят различными инструментами, установленными на поперечных суппортах, в револьверной головке и специальных приспособлениях. По характеру выполняемых работ одношпиндельные токарные автоматы подразделяют на фасонно-отрезные (рис. 7.19, *а*), продольно-фасонные (рис. 7.19, *б*) и револьверные (рис. 7.19, *в*). На многошпиндельных автоматах заготовки обрабатываются одновременно на четырех, шести или восьми позициях, равных числу шпинделей автомата. Многошпиндельные автоматы подразделяют на фасонно-отрезные (рис. 7.19, *г*), непрерывного действия (рис. 7.19, *г*) и последовательного действия (рис. 7.19, *е*).

## 7.4.2. Фасонно-отрезные автоматы

Такие автоматы (см. рис. 7.19, *а*) предназначены для фасонной обработки сравнительно коротких деталей при поперечном перемещении фасонных и отрезных резцов, закрепленных на поперечных суппортах 2. Поперечные суппорты в свою очередь установлены на люнетной стойке 5 (см. рис. 7.19, *б*), в которой закреплена люнетная втулка 4. После того как изготовленную деталь отрезают, через эту втулку 4 пруток 3 подают до остановившегося отрезного резца, и цанга в шпинделе его зажимает. Шпиндель, вращаемый приводом в опорах, установленных в шпиндельной бабке 1, передает через цангу главное вращательное движение  $D_r$  прутку 3. Фасонными резцами с поперечной подачей  $D_{s_n}$  (как, например, резцами 3, показанными на рис. 7.8, *а–в*) обрабатывается заготовка, после чего проводят отрезку детали (как, например, резцом 6, показанным на рис. 7.5, *а*) — тоже, естественно, с поперечной подачей  $D_{s_n}$ . Отрезной резец остается на месте, цангу разжимают, и цикл повторяется.

Отметим, что шпиндельная бабка 1 никаких (в том числе продольного) перемещений не имеет.

Эти автоматы имеют два — четыре поперечных суппорта. Некоторые типы фасонно-отрезных автоматов имеют продольный суппорт, установленный напротив люнетной стойки 5 (см. рис. 7.19, б) — как задняя бабка 17 на токарном станке (см. рис. 7.1). Этот суппорт предназначен для выполнения сверлильных и резьбонарезных работ, на нем устанавливают сверла, зенкеры, развертки, метчики, плашки, которым, кроме вращательного движения, сообщают и продольную подачу.

Шпиндели фасонно-отрезных автоматов имеют левое вращение (шпиндель вращается по часовой стрелке, если смотреть со стороны переднего торца шпинделя).

### 7.4.3. Продольно-фасонные автоматы

Эти автоматы (см. рис. 7.19, б) предназначены для обработки точных деталей сложной конфигурации, имеющих большое отношение длины к диаметру (до 20), небольшим количеством инструментов.

Модели автоматов: 110П; 112; 1А10П; 1П12; 1125; 1Б10А; 1П16; 1103. Наибольшие диаметры обрабатываемого прутка для различных моделей — 4... 25 мм, длина получаемой детали — до 80 мм, частота вращения шпинделя  $n = 500 \dots 1\,000$  об/мин (8,33... 16,67 об/с).

Точность обработки по диаметру — 7-й квалитет, по длине — 9-й квалитет; а у автоматов моделей 1А10П и 1П12 — соответственно 6-й и 7-й квалитеты. Шероховатость поверхности  $Ra\ 1,25 \dots 0,32$  мкм.

Сравнивая схемы на рис. 7.19, а и 7.19, б, можно убедиться, что у фасонно-отрезных и продольно-фасонных автоматов много общего. Но у последних есть несколько отличий. Прежде всего, шпиндельная бабка 1 (см. рис. 7.19, б) продольно-фасонного автомата имеет продольное перемещение  $D_{суп}$ , что резко увеличивает возможности автомата.

Различные сочетания согласованных перемещений и остановок вращающегося прутка и резцов дают возможность получать на заготовках различные поверхности.

На рис. 7.20 показаны схемы обработки различных поверхностей заготовок проходными и фасонными резцами, установленными на поперечных суппортах при различных сочетаниях перемещений инструментов и прутка. Пруток, естественно, вращается во всех случаях — это главное движение. Только за счет поперечного перемещения резца осуществляют: прорезку канавки (рис. 7.20, а),

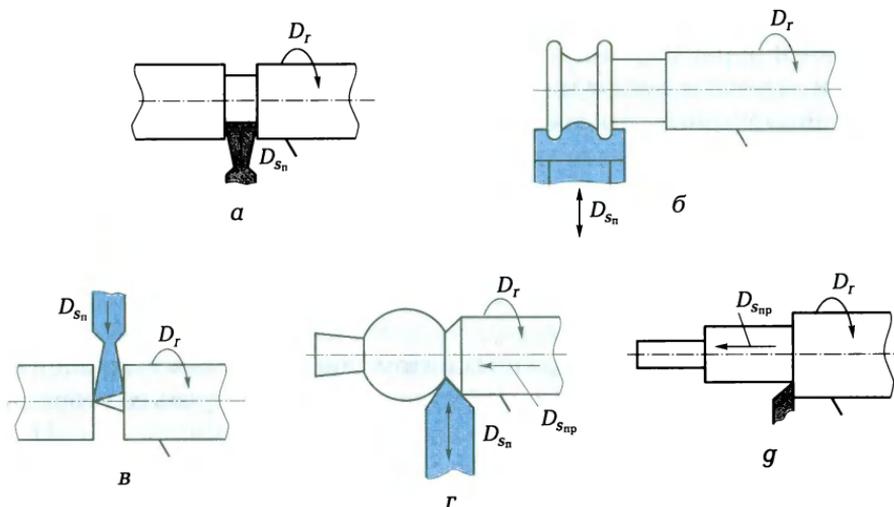


Рис. 7.20. Обработка различных поверхностей заготовок резцами, установленными на поперечных суппортах продольно-фасонных автоматов:

*а, б, в* — соответственно прорезным, фасонным, отрезным (при поперечном перемещении резца без продольного перемещения обрабатываемого прутка); *г* — обработка фасонной поверхности проходным резцом (при одновременном перемещении прутка и резца); *г* — обработка цилиндрической поверхности (при неподвижном резце и продольном перемещении прутка)

обработку фасонным резцом (рис. 7.20, б), отрезку обработанной детали (рис. 7.20, в). При одновременном перемещении обрабатываемого прутка и резца можно получить фасонное тело вращения практически любого профиля (рис. 7.20, г). При неподвижном резце и продольном перемещении прутка (рис. 7.20, г) осуществляется обработка цилиндрической поверхности.

Кроме того, у продольно-фасонного автомата имеется балансирующий суппорт (на рис. 7.19, б не показан), на котором устанавливают два резца (проходной и отрезной, что также увеличивает возможности автомата).

Шпиндели продольно-фасонных автоматов, в патронах которых закрепляют прутки, также имеют левое вращение с частотой  $n$ . Поэтому при обработке отверстий левыми сверлами шпиндель сверлильного приспособления не вращается ( $n_{св} = 0$ ), а при использовании правых сверл им следует сообщать вращение в ту же сторону, что и пруток, с частотой, превышающей частоту вращения прутка ( $n_{св} = n + 0,25n$ ), т. е. проводить сверление методом обгона. Также методом обгона нарезают правую резьбу на продольно-фасонных автоматах.

## 7.4.4. Токарно-револьверные автоматы

Такие автоматы предназначены для обработки сравнительно сложных по форме деталей, имеющих небольшое отношение длины к диаметру и требующих применять большое количество разнообразных инструментов. Отличительная особенность токарно-револьверных автоматов — наличие распределительного (РВ) и вспомогательного (ВВ) валов, предназначенных для осуществления всех рабочих и холостых ходов. На вспомогательном валу устанавливают кулачки, управляющие такими движениями автомата, как зажим и подача прутка, поворот револьверной головки, реверс шпинделя.

На рис. 7.19, в представлена упрощенная схема пруткового токарно-револьверного автомата. Пруток 3 закрепляют в цанге шпиндельной бабки 1, и ему от привода передается вращательное движение.

Шпиндельная бабка 1 закреплена на станине 8 автомата и не имеет продольной подачи.

На станине 8 и шпиндельной бабке 1 монтируют поперечные суппорты 2. Обычно автомат имеет два горизонтальных поперечных суппорта и (в случае необходимости) устанавливают один вертикальный. На револьверном суппорте 7 смонтирована револьверная головка 6, ось поворота которой горизонтальна, с шестью гнездами для инструмента и державок с инструментами. Суппорты автомата имеют только поперечную подачу, револьверный суппорт — только продольную. Включением, выключением и изменением скоростей вращения заготовки и перемещения суппортов и револьверной головки управляют кулачки, установленные на двух участках распределительного вала.

На токарно-револьверных автоматах можно проводить обработку наружных поверхностей инструментами, установленными в поперечных суппортах 2 и револьверной головке 6, внутренних — только инструментами, закрепленными в револьверной головке 6 и в специальных приспособлениях. Такие автоматы в большинстве случаев предназначают для обработки заготовок из прутков диаметром 8...36 мм. Величина подачи материала — 60...90 мм. Максимальный ход револьверной головки — 50...80 мм. Частота вращения шпинделя — 100...4900 об/мин (1,67...81,67 м/с).

Модели автоматов: 1112, 1118, 1124, 1136 — прутковые, 1А112, 1А118, 1А124, 1А136 — магазинные.

Точность обработки наружных поверхностей — 11 — 12-й качества, а при наличии калиброванного материала и высокой точно-

сти зажимных патронов при хорошем состоянии станка — 9–8-й квалитеты. Точность обработки отверстий (как и на револьверных станках) — до 7-го квалитета.

У большинства токарно-револьверных автоматов (за исключением 1А112, 1А118) вращение шпинделя — левое. Нарезание резьбы осуществляют с реверсом (изменяя направление вращения шпинделя).

### 7.4.5. Проектирование процесса обработки и настройка токарных автоматов

Проектирование процесса обработки состоит из следующих этапов:

- 1) разработка плана обработки;
- 2) составление расчетного листа настройки и определение времени обработки;
- 3) проектирование кулачков для данного автомата по разработанному технологическому процессу.

Настройка автомата — установка сменных зубчатых колес, плеч переменных рычагов, установка кулачков, установка и регулировка инструментов и т. д.

### 7.4.6. Многошпиндельные токарные автоматы и полуавтоматы

Они предназначены для одновременной обработки нескольких заготовок.

Многошпиндельные фасонно-отрезные автоматы (см. рис. 7.19, г), на которых осуществляют параллельную обработку заготовок, фактически представляют собой несколько объединенных в одном корпусе одношпиндельных автоматов. Автомат одновременно изготавливает все одинаковые детали (обычно четыре). Заготовки (прутки 3) пропускают сквозь полые шпиндели 12 на длину, равную длине изготавливаемой детали. Прутки зажимаются цанговыми патронами шпинделей и получают вращательное движение  $D_r$ .

Обрабатывающие резцы 10 (часто фасонные), каждый из которых установлен в переднем поперечном суппорте 9 напротив соответствующего шпинделя 12 станка, одновременно получают поперечную подачу  $D_{s_n}$ .

После обработки поверхностей заготовок отрезные резцы 11, установленные в заднем поперечном суппорте 13, получают по-

перечную подачу  $D_n$ , отрезают готовые детали от прутков, и цикл работы автомата повторяется.

Многошпиндельные автоматы непрерывного действия (роторная обработка) (см. рис. 7.19, *g*) применяют в основном для обработки штучных заготовок, загрузку которых проводят с помощью бункерного питателя, который на рис. 7.19, *g* не показан. На станине 8 установлена карусель 17, в которой смонтированы шпиндели 12. На центральной колонне 14 установлены суппорты 15, имеющие вертикальную подачу  $D_{сн}$ . В них закрепляют инструменты. Привод станка 16 расположен в станине 8. Каждую обрабатываемую заготовку закрепляют в своем шпинделе 12, от которого она получает вращательное движение  $D_r$ . Карусель 17 вместе со шпинделями 12 имеет медленное вращательное движение  $D_{свр}$ . С такой скоростью и в том же направлении вращается колонна 14 вместе с вертикальными суппортами 15, на которых закреплены инструменты. При вращении карусели 17 и колонны 14 заготовки обрабатывают этими инструментами с вертикальной подачей. За один оборот карусели и колонны обработка заканчивается.

На автоматах последовательного действия (см. рис. 7.19, *e*) заготовку постепенно обрабатывают различными инструментами, переводя из одной позиции в другую. Многошпиндельные автоматы последовательного действия, как правило, применяют для обработки пруткового материала. Подача новой порции материала проводится обычно в одной позиции.

На рис. 7.19, *e* слева показан шпиндельный блок 18 со шпинделями 12, в которых закрепляют заготовки 3. Этот блок смонтирован на передней стойке 22 станка, на торцевой стороне которой около каждого шпинделя установлены поперечные суппорты 2, а на них закрепляют инструменты, работающие с поперечной подачей (прорезные, фасонные, отрезные и другие резцы). Шпиндельный блок 18 имеет установочное вращательное движение  $D_{св}$ , причем при каждом его движении меняется положение шпинделей относительно инструментов. Каждый шпиндель сообщает заготовке (обычно прутку) главное вращательное движение.

В правой части рис. 7.19, *e* показан осевой суппорт 20, имеющий продольное перемещение, с каретками, на которых закрепляются инструменты 19, работающие с продольной подачей (сверла, зенкеры, развертки, расточные и проходные резцы и т. д.).

Каретки осевого суппорта располагают соосно со шпинделями, против которых они устанавливаются.

Зажатый в шпинделе пруток 3, перемещаясь вместе со шпинделем 12, при каждом повороте шпиндельного блока занимает очеред-

ную рабочую позицию, обслуживаемую соответствующими инструментами каретки 19, и заготовки последовательно подвергают всем операциям обработки. Таким образом, в каждой позиции шпинделей автомата заготовка находится на разных стадиях обработки.

В предпоследней позиции шпинделя заготовки 3 окончательно обрабатывают, и отрезной резец отрезает готовую деталь от прутка. После очередного поворота шпиндельного блока на  $1/n$  часть ( $n$  — число шпинделей автомата) прутки подают на длину, равную длине обрабатываемой детали, и цикл повторяется.

Время обработки любой детали равно времени обработки заготовки в процессе самой продолжительной операции.

## 7.5. ОБРАБОТКА ЗАГОТОВОК НА ТОКАРНЫХ СТАНКАХ С ЧПУ

### 7.5.1. Общие сведения

В токарных станках с ЧПУ в основном используют две системы управления: прямоугольную или контурную.

Прямоугольная система ЧПУ (рис. 7.21) обеспечивает рабочие перемещения исполнительных органов станка поочередно вдоль его осей координат на требуемые расстояния в соответствии с заданной программой обработки заготовок.

Координатные оси токарного станка с ЧПУ: ось вращения заготовки — ось  $Z$ ; направление, перпендикулярное к оси  $Z$  в горизонтальной плоскости, — ось  $X$ . Положительные направления: оси  $Z$  — слева направо от шпинделя станка; оси  $X$  — от линии центров станка.

По такой схеме осуществляют наружную обработку ступенчатых валов или растачивание ступенчатых отверстий.

Контурная система ЧПУ обеспечивает автоматическое перемещение исполнительного органа станка по произвольной траектории с контурной скоростью  $v_{s_k}$ , заданной программой управления. В данном случае имеем два совместных и взаимосвязанных движения  $v_{s_{np}}$  и  $v_{s_n}$  исполнительных органов станка. По такой схеме осуществляют обработку конических и фасонных поверхностей заготовок. Можно обтачивать наружные цилиндрические поверхности, если  $v_{s_n} = 0$ , или подрезать плоские торцы, если  $v_{s_{np}} = 0$ . Под контурной скоростью  $v_{s_k}$  движения подачи понимают результирующую скорость двух подач.

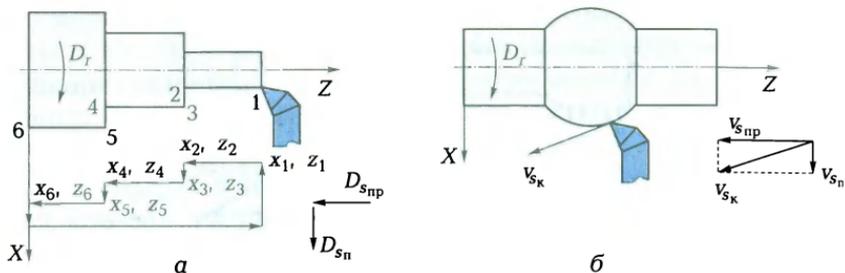


Рис. 7.21. Схемы обработки заготовок на токарном станке по прямоугольной (а) и контурной (б) системам ЧПУ:

1–2, 2–3, ..., 5–6 — начало и конец обработки при каждом рабочем ходе;  $x_1, \dots, x_6$  и  $z_1, \dots, z_6$  — координаты перемещения инструмента вдоль осей  $X$  и  $Z$  при каждом рабочем ходе;  $v_{snp}, v_{sn}, v_{sk}$  — соответственно продольная, поперечная и контурная скорости

Если обрабатываемая поверхность имеет сложную криволинейную образующую, то в этом случае в системе ЧПУ используют линейные, круговые или линейно-круговые интерполяторы. Использование интерполяторов позволяет заменить (аппроксимировать) сложную образующую поверхности более простыми элементами: дугами окружностей, отрезками прямых. Это значительно упрощает разработку программы.

## 7.5.2. Обработка заготовок на токарно-карусельных станках с ЧПУ

Токарно-карусельные станки могут быть одностоечными (мод. 1512Ф3 и 1516Ф3) и двухстоечными (мод. 1А525МФ3 и 1А532ЛМФ3). Общий вид двухстоечного станка показан на рис. 7.22, а. Карусельные станки имеют три суппорта — верхний 3 с револьверной головкой 1, верхний 12 и боковой 5 для установки резцов.

На токарно-карусельных станках обтачивают наружные и растачивают внутренние цилиндрические и конические поверхности, обтачивают фасонные поверхности, обтачивают наружные и внутренние кольцевые канавки, галтели, фаски, обтачивают плоские торцовые поверхности и нарезают резьбы резцами, а также сверлят, зенкеруют и развертывают центральные отверстия.

На станках ведут многоинструментную обработку одновременно нескольких поверхностей заготовки. На рис. 7.22, б показана схема обработки заготовки 14 большого диаметра. Обработку ведут

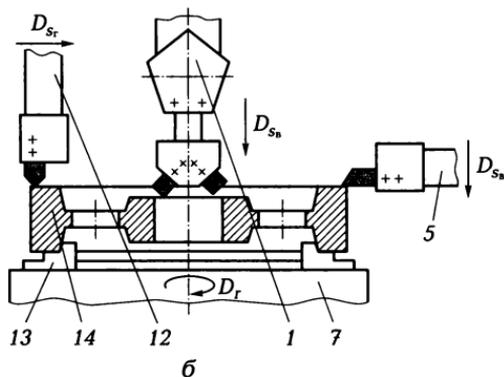
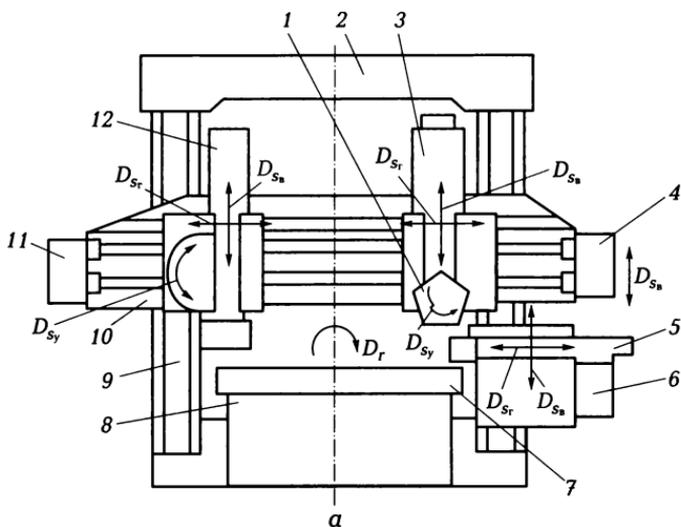


Рис. 7.22. Схемы токарно-карусельного станка (а) и обработки заготовки на нем (б):

1 — револьверная головка; 2 — поперечина; 3 — револьверный суппорт; 4, 6 и 11 — коробки подачи; 5 — боковой суппорт; 7 — карусель; 8 — станина; 9 — стойки; 10 — подвижная траверса; 12 — верхний суппорт; 13 — приспособление; 14 — заготовка

тремя инструментами. Наружную цилиндрическую поверхность обтачивают проходным резцом, закрепленным в резцедержателе суппорта 5.

Движение подачи резца — вертикальное. Торцев обода колеса обтачивают подрезным резцом, который закреплен в резцедержателе верхнего суппорта 12. Движение подачи резца — горизонтальное. Растачивание отверстия выполняют двумя расточными резцами, установленными в револьверной головке 1. Обработку ведут при

вертикальном движении подачи головки. На рис. 7.22, б все инструменты показаны в позициях перед началом обработки.

Токарно-карусельные станки предназначены для обработки крупных тяжелых заготовок: например, на одностоечном станке с ЧПУ мод. 1512Ф3 можно обрабатывать заготовки диаметром до 1 250 мм и высотой до 1 000 мм. Станок имеет устройство ЧПУ типа H55-2, которое обеспечивает автоматическое управление (по заданной программе) вертикальным суппортом с револьверной головкой и приводом главного движения резания  $D_r$ . По программе (автоматически) происходят изменение частоты вращения карусели с заготовкой; управление продольными и поперечными движениями подачи револьверной головки с инструментами; изменение величины подач; нарезание резьб; поворот и фиксация револьверной головки; установка инструмента в нулевое положение. Число управляемых координат (всего/одновременно) 2/2. Программу записывают на восьмидорожечной перфоленте. Система ЧПУ замкнутая — с датчиками обратной связи, регистрирующими и контролирующими величину перемещений инструментов. Дискретность отсчета перемещений по осям равна 0,01 мм.

### **7.5.3. Обработка заготовок на токарных многоцелевых станках**

Конструкция деталей машин требует не только обработки поверхностей, имеющих форму тел вращения. Часто приходится выполнять фрезерную обработку — фрезерование пазов, лысок, канавок или обработку отверстий, не соосных с осью вращения заготовки или расположенных под углом к ней. В таких случаях в условиях работы роботизированных гибких автоматизированных систем используют токарные многоцелевые станки. Подобные станки имеют дополнительные шпиндели, которые обеспечивают вращательное движение инструментам: фрезам, сверлам, разверткам. Станки имеют две револьверные головки. В одной из них устанавливают резцы, в другой — инструменты с вращательным движением.

Возможны обработка поверхностей заготовок с движениями продольной подачи вдоль оси и в поперечном направлении, управление поворотом на определенный угол и индексация шпинделя, что позволяет останавливать и закреплять шпиндель в любом заранее запрограммированном положении по углу поворота.

Магазины инструментов имеют 8 — 25 инструментов, смена которых происходит автоматически в соответствии с циклом обработки

поверхностей заготовки. Для смены инструментов станки снабжают автооператором, работающим по программе.

## **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

---

1. Назовите основные типы станков токарной группы.
2. Какие инструменты применяют при обработке на токарных станках?
3. Назовите приспособления, которые применяют для закрепления заготовок при их обработке на токарных станках.
4. Как обрабатывают цилиндрические, конические и фасонные поверхности на токарных станках?
5. Какими инструментами обрабатывают резьбы на токарных станках?
6. Назовите типы револьверных станков. Какие работы можно выполнять на них?
7. Назовите типы токарных автоматов. Какие работы можно выполнять на них?
8. Каковы особенности токарных станков с ЧПУ и какие работы можно выполнять на них?

# СТРОГАНИЕ, ДОЛБЛЕНИЕ И ПРОТЯГИВАНИЕ

## 8.1. СТРОГАНИЕ

### 8.1.1. Характеристика метода строгания

Технологический метод формообразования поверхности заготовок строганием характеризуется наличием двух движений: возвратно-поступательного резца или заготовки (главное движение, скорость движения резания) и прерывистого прямолинейного движения подачи, направленного перпендикулярно к вектору главного движения.

Разновидностью строгания является долбление, где главное движение резания — возвратно-поступательное — совершает резец в вертикальной плоскости.

Процесс резания при строгании прерывистый, и удаление материала происходит только при прямом рабочем ходе. Во время обратного (вспомогательного) хода резец работу не производит. Прерывистый процесс резания способствует охлаждению инструмента во время обработки заготовок, что исключает в большинстве случаев применение СОЖ. Прерывистый процесс резания приводит к значительным динамическим нагрузкам режущего инструмента, поэтому строгание осуществляют на умеренных скоростях резания.

При строгании режим резания составляет совокупность величин: скорости главного движения резания  $v$ , подачи  $s$  и глубины резания  $t$ .

Глубина резания  $t$ , мм, — наибольшее расстояние, на которое проникает режущая кромка в заготовку; ее измеряют в плоскости, перпендикулярной направлению движения подачи. При строгании и долблении движение подачи — прерывистое и осуществляется в конце вспомогательного хода заготовки или резца. Величины  $t$  и  $s$  выбирают из справочников. Задавшись глубиной резания и по-

дочей, по эмпирической формуле определяют скорость главного движения резания, м/с или м/мин.

Оборудованием при строгании являются строгальные станки, которые предназначены для обработки резцами плоских поверхностей, канавок, фасонных линейчатых поверхностей в условиях единичного и мелкосерийного производства. Строгальные станки широко применяют в станкостроении и тяжелом машиностроении, когда необходимо обрабатывать крупные, большой массы заготовки станин, корпусов, рам, оснований, колонн и других деталей.

В зависимости от конструктивных и технологических признаков строгальные станки подразделяют на поперечно-строгальные, продольно-строгальные, долбежные и специальные.

Наибольшее использование находят продольно-строгальные станки, предназначенные для обработки сравнительно крупных заготовок.

Поперечно-строгальные станки предназначены для обработки заготовок мелких и средних размеров. Наибольшая длина строгания не превышает 200... 2 400 мм. Главное движение резания  $D_r$  — возвратно-поступательное движение в горизонтальной плоскости — сообщают ползуну с суппортом, в котором в откидном резцедержателе установлен резец. Суппорт с резцом имеет движение вертикальной  $D_{св}$  и наклонной подач  $D_{сн}$ . Заготовке, установленной на столе, сообщают движение поперечной подачи  $D_{сп}$ .

На долбежных станках главное движение резания  $D_r$  — возвратно-поступательное в вертикальной плоскости — сообщают ползуну, на котором установлен резцедержатель с резцом. Длина хода ползуна обычно не превышает 200 мм. Заготовку закрепляют на столе станка, который имеет прерывистое движение продольной  $D_{сп}$  и поперечной подач  $D_{сн}$ . Кроме того, стол имеет движение круговой подачи относительно своей вертикальной оси  $D_{скр}$ .

## 8.1.2. Режущий инструмент и схемы обработки заготовок на строгальных и долбежных станках

Строгальные резцы по сравнению с токарными работают в более тяжелых условиях, так как резец, врезаясь в материал заготовки, при каждом рабочем ходе испытывает ударную (динамическую) нагрузку. Под действием этой нагрузки резец изгибается в сторону опорной поверхности стержня. Если вершина резца расположена слева от оси стержня, то она вследствие деформирования опишет

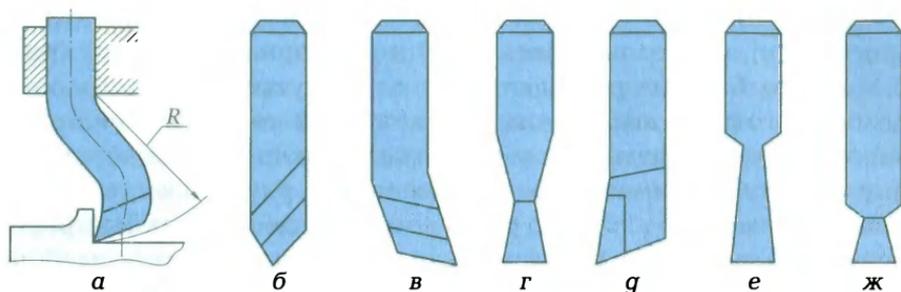


Рис. 8.1. Строгальные (а–г) и долбежные (д–ж) резцы:

$R$  — радиус дуги, которую описывает вершина резца

дугу, глубина резания изменится. Во избежание этого необходимо, чтобы при деформировании вершина резца описывала дугу радиусом  $R$ , касательную к обработанной поверхности (рис. 8.1, а). Для этого вершина резца должна быть расположена между опорной поверхностью стержня и плоскостью, проходящей через ось стержня резца. Чтобы выдержать это условие, строгальные резцы выполняют изогнутыми назад.

Резцы обычных строгальных станков делают с пластинами: для строгания конструкционных сталей — из стали Р12, Р6М3, для труднообрабатываемых материалов — из стали Р9М4К8Ф, Р9К10 и твердых сплавов ВК6, ВК8, Т5К10, Т15К6 и др.

В зависимости от назначения различают следующие типы строгальных резцов: проходные (рис. 8.1, б), подрезные (рис. 8.1, в), отрезные (рис. 8.1, г) и фасонные. Указанные резцы выполняют правыми и левыми, черновыми и чистовыми; их конструкции аналогичны конструкциям резцов для токарной обработки.

Геометрические параметры строгальных резцов те же, что и токарных, но при их определении имеется в виду, что основная плоскость располагается вертикально, а плоскость резания (в статике) — перпендикулярно к ней.

Строгальные резцы специальных фасонно-строгальных станков, имеющих малые размеры, можно делать монолитными, из стали или сплавов указанных ранее марок. В некоторых случаях применяют сборные конструкции из державки и сменного резца. Выпускаются также ножи-вставки к резцам тяжелых строгальных станков, оснащенные сплавом Т5К10.

На строгальных станках обрабатывают плоские поверхности, уступы, пазы угловые, Т-образные, V-образные, призматические, фасонные поверхности.

Долбежные резцы изготовляют трех основных типов: проходные (рис. 8.1, г), прорезные (рис. 8.1, е) и для шпоночных пазов (рис. 8.1, ж). Долбежные резцы относят к изогнутым вперед. Головка долбежного резца аналогична головке токарного резца с некоторыми отличиями: передняя поверхность долбежного резца обращена вниз, его головка имеет иное соединение с корпусной частью и т. п. Режущую часть долбежного резца делают чаще всего из быстрорежущей стали, для чего предусмотрены специальные формы пластин для оснащения резцов этого типа.

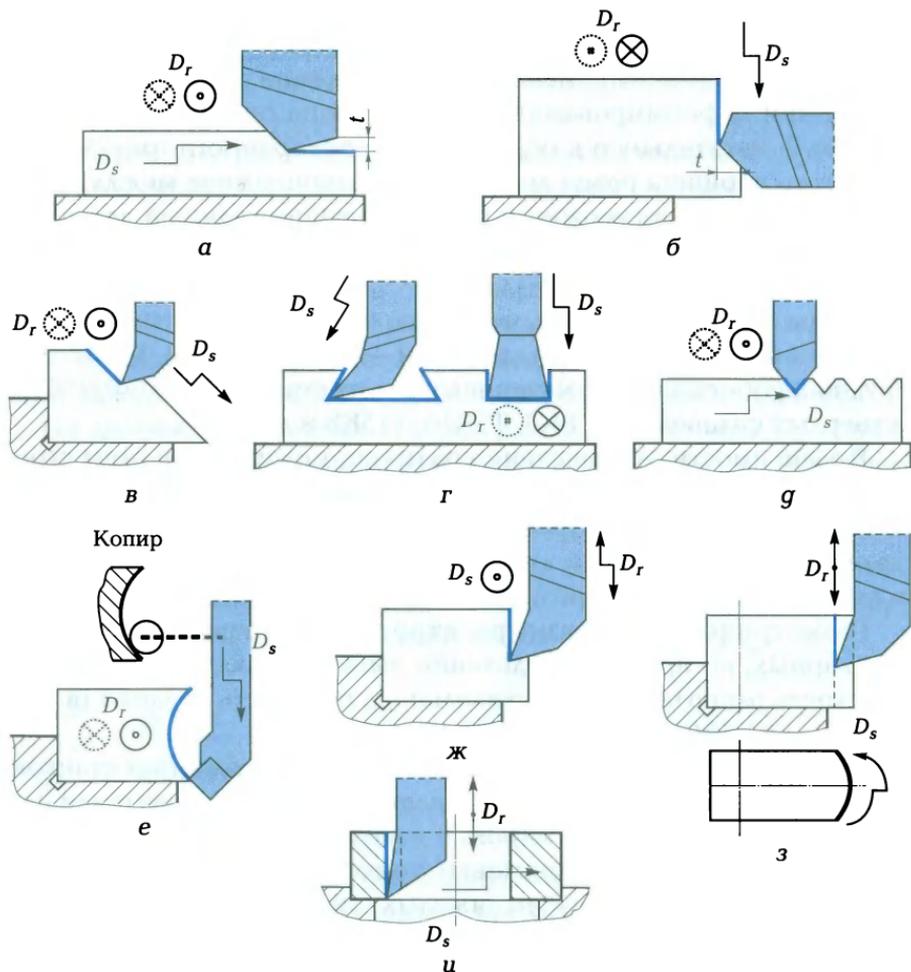


Рис. 8.2. Схемы обработки заготовок на строгальных (а-е) и долбежных (ж-и) станках

Номенклатура долбежных резцов невелика, поскольку долбление как технологический метод применяют при единичном или мелкосерийном производстве и в случаях отсутствия вертикально-фрезерных и других, более производительных станков.

На долбежных станках обрабатывают плоские вертикальные поверхности, многогранники, многогранные отверстия, наружные пазы, фасонные поверхности.

*Плоскости горизонтальные* (рис. 8.2, а), *вертикальные* (рис. 8.2, б) и *наклонные* (рис. 8.2, в) на поперечно-строгальных станках обрабатывают соответственно с движением поперечной, вертикальной и наклонной подач. При строгании наклонной плоскости вертикальный суппорт поворачивают на угол, равный углу наклона обрабатываемой плоскости.

*Пазы угловые и прямоугольные* одновременно можно обрабатывать на продольно-строгальных станках (рис. 8.2, г), а рифленые поверхности — на поперечно-строгальных (рис. 8.2, г).

*Фасонные поверхности* по копиру обрабатывают на продольно-строгальных станках (рис. 8.2, е). На рис. 8.2, ж показано строгание вертикальной плоскости на долбежном станке, на котором можно обрабатывать и фасонные поверхности (рис. 8.2, з). Строгание шпоночного паза (рис. 8.2, и) проводят на долбежных станках.

Строгание горизонтальных плоскостей выполняют проходными резцами, вертикальных и наклонных плоскостей — подрезными резцами, пазов — прорезными резцами и т. д.

## 8.2. ПРОТЯГИВАНИЕ И ПРОШИВАНИЕ

### 8.2.1. Характеристика метода

Протягивание — высокопроизводительный метод обработки внутренних и наружных поверхностей, обеспечивающий высокую точность формы и размеров обрабатываемой поверхности. Протягивают поверхность многолезвийным режущим инструментом-протяжкой при его поступательном движении  $D$ , относительно неподвижной заготовки (главное движение резания).

Прошивание осуществляют проталкиванием инструмента-прошивки через обрабатываемые заготовки. И протягивание, и прошивание применяют для окончательной обработки отверстий.

Оборудование при протягивании — это протяжные станки, которые отличаются простотой конструкции и эксплуатации. Это

обусловлено тем, что формообразование поверхности на протяжном станке осуществляют копированием формы режущих кромок зубьев инструмента.

Основными параметрами протяжного станка являются *наибольшая сила протягивания* (может достигать 290...390 кН у средних станков и 1 170 кН у крупных станков); *максимальная длина хода протяжки* (для средних станков она колеблется в пределах 350...2 300 мм).

Протяжные станки предназначены для обработки внутренних и наружных поверхностей различной формы, чаще всего в условиях серийного и массового производства. Протяжные станки имеют гидравлический привод и часто работают по полуавтоматическому циклу.

В зависимости от вида обрабатываемых поверхностей их подразделяют на станки для внутреннего и наружного протягивания; по направлению главного движения — на горизонтальные и вертикальные.

Процесс протягивания осуществляют многозубым инструментом — протяжкой на горизонтально- и вертикально-протяжных станках и на станках непрерывной обработки.

При оснащении протяжных станков загрузочно-разгрузочными устройствами цикл обработки полностью автоматизируют.

Прошивание осуществляют на прессах или вертикально-протяжных станках.

## 8.2.2. Режущий инструмент и режимы резания

По характеру обрабатываемых поверхностей протяжки подразделяют на две основные группы: внутренние и наружные. Внутренними протяжками обрабатывают различные замкнутые поверхности, а наружными — полузамкнутые и открытые поверхности различного профиля.

По форме различают круглые, шлицевые, шпоночные, многогранные и плоские протяжки. По конструкции зубьев протяжки бывают режущими, выглаживающими и деформирующими. В первом случае зубья имеют режущие кромки, в двух последних — скругленные, работающие по методу пластического деформирования. Различают также сборные протяжки со вставными ножами, оснащенными пластинами из твердого сплава.

**Конструкция круглых внутренних протяжек и прошивок.** Составные части внутренних круглых протяжек и их обозначения

показаны на рис. 8.3. Скорость главного движения при протягивании и прошивании — это скорость продольного перемещения инструмента относительно обрабатываемой заготовки. Движение подачи на глубину резания осуществляется самой конструкцией инструмента. Каждый последующий зуб режущей части протяжки или прошивки выше предыдущего на величину подачи  $s_z$  (подъем на зуб), равной толщине срезаемого слоя  $a$  каждым зубом.

Режущая часть 4 протяжки состоит из черновой и чистовой частей. На черновой части толщина  $a$  срезаемого каждым зубом слоя достигает 0,2 мм, а на чистовой  $a = 0,005 \dots 0,020$  мм.

Передний  $\gamma$  и задний  $\alpha$  углы протяжки измеряют в плоскости, перпендикулярной главной режущей кромке. Угол  $\gamma$  выбирают в зависимости от свойств обрабатываемого материала, угол  $\alpha$  — в зависимости от требуемой точности обработки.

Калибрующая часть 5 протяжки удаляет и сглаживает отдельные неровности на протянутой поверхности, полученные режущими зубьями, а также служит резервом для пополнения режущих зубьев при изменении их размеров при переточках и обеспечивает правильное направление и центрирование протяжки при выходе из резания последних режущих зубьев. Калибрующие зубья не имеют подъема на зуб. Конструктивное оформление и размеры калибрующих зубьев либо такие же, как у режущих зубьев ( $t_k = t_p$ ,  $h_k = h_p$ ),

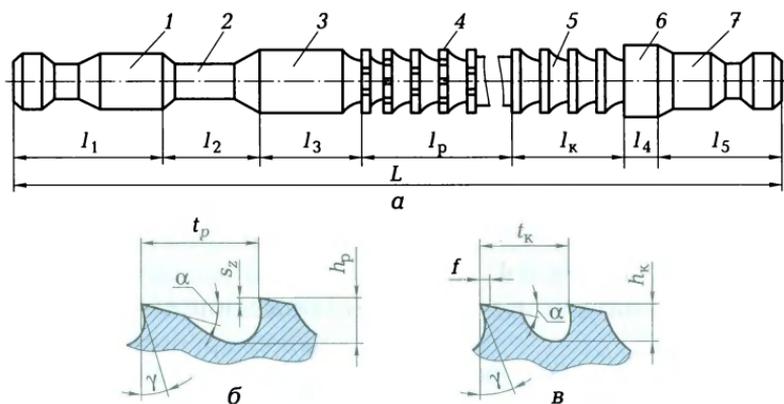


Рис. 8.3. Составные части внутренних круглых протяжек (а) и фрагменты продольного сечения режущей (б) и калибрующей (в) частей:

1 — передняя замковая часть ( $l_1$ ); 2 — шейка ( $l_2$ ); 3 — передняя направляющая часть ( $l_3$ ); 4 — режущая часть ( $l_p$ ); 5 — калибрующая часть ( $l_k$ ); 6 — задняя направляющая часть ( $l_4$ ); 7 — задняя замковая часть ( $l_5$ );  $\gamma$ ,  $\alpha$  — передний и задний угол;  $s_z$  — подъем на зуб;  $t_p$ ,  $t_k$  — шаги;  $h_p$ ,  $h_k$  — высота зубьев соответственно на режущей и калибрующей частях;  $f$  — ширина ленточки

либо с уменьшенным шагом ( $t_k < t_p$ ) и высотой ( $h_k < h_p$ ). В обычных конструкциях протяжек количество зубьев на калибрующей части принимают в пределах  $z_k = 4 \dots 8$ .

На задних поверхностях калибрующих зубьев в ряде случаев шлифуют фаску (ленточку) шириной  $f = 0,2 \dots 1,2$  мм, у которой задний угол  $\alpha_k = 0$ . Иногда за калибрующими зубьями располагают выглаживающие, которые закруглены и при движении протяжки как бы развальцовывают обрабатываемое отверстие. Величина подъема на зуб у выглаживающих зубьев назначается в пределах  $0,005 \dots 0,020$  мм на диаметр.

Шаг режущих зубьев  $t_p$  протяжки определяют в зависимости от длины  $L_{п.п}$  протягиваемой поверхности таким образом, чтобы в резании участвовало не менее трех зубьев.

Размеры передней замковой части 1 и передней направляющей части 3 принимают в зависимости от формы и размеров предварительно подготовленного отверстия под протягивание. Шейка 2 — это переходная часть от замковой к передней направляющей.

Прошивки, являющиеся разновидностью внутренних протяжек, имеют те же конструктивные элементы, кроме замковых частей и шейки.

Расчет режущей и калибрующей частей прошивок выполняют так же, как и для внутренних протяжек. Конструктивное оформление режущей, калибрующей и направляющей частей прошивки в поперечном сечении определяется формой и размерами предварительно подготовленного отверстия и окончательно обработанного прошивкой.

Прошивки с выглаживающими зубьями обеспечивают обработку по 6—7-му квалитетам и качество поверхности  $Ra 0,32 \dots 0,16$  мкм. Выглаживающие зубья прошивки и протяжки в продольном сечении либо имеют радиусную форму, либо состоят из прямолинейных участков с углом конуса  $4 \dots 10^\circ$ .

Величина подъема на зуб у выглаживающих зубьев равна  $0,005 \dots 0,03$  мм.

**Режимы резания.** Скорость главного движения резания лимитируют, во-первых, условие получить обработанную поверхность высокого качества и, во-вторых, технологические возможности протяжных станков. Движение подачи при протягивании как самостоятельное движение инструмента или заготовки отсутствует. За величину подачи  $s_z$ , определяющую толщину срезаемого слоя отдельным зубом протяжки, принимают подъем на зуб, т. е. разность размеров по высоте двух соседних зубьев протяжки;  $s_z$  является

одновременно и глубиной резания. Подача в основном зависит от обрабатываемого материала, конструкции протяжки и жесткости заготовки и составляет 0,01 ... 0,20 мм/зуб. Оптимальные параметры режима резания либо выбирают из справочников, либо подсчитывают по нижеприведенным формулам.

**Сила резания**  $P_z$  должна быть не более силы, допустимой прочностью протяжки. Силу резания  $P_z$ , Н, рассчитывают по формуле

$$P_z = P_0 \sum b,$$

где  $P_0$  — сила резания, отнесенная к 1 мм длины режущего лезвия, Н/мм;  $\sum b$  — суммарная длина режущих кромок всех одновременно работающих режущих зубьев, мм.

Значение  $P_0$  зависит от величины подъема на зуб  $s_z$  обрабатываемого материала и приводится в нормативах режимов резания при протягивании.

**Скорость резания** при протягивании лимитирует условие получить высококачественную обработанную поверхность. Скорость резания, м/мин или м/с, подсчитывают по формуле

$$v = \frac{C_v}{T^m s_z^y} k \quad \text{или} \quad v = \frac{C_v}{T^m s_z^y} k, 60$$

где  $C_v$  — коэффициент, характеризующий условия обработки (обрабатываемый материал, его твердость);  $T$  — стойкость протяжки, мин;  $k$  — коэффициент, учитывающий влияние марки инструментальной стали;  $m$  и  $y$  — показатели степени при стойкости и подаче, зависящие от обрабатываемого материала, материала протяжки и других условий.

Скорость резания при протягивании ограничена технологическими возможностями протяжных станков. Обычно скорость резания  $v$  принимают в пределах 1 ... 20 м/мин или 0,016 ... 0,330 м/с. При скоростном протягивании (90 м/мин или 1,5 м/с) применяют твердосплавные протяжки.

### 8.2.3. Схемы обработки заготовок на протяжных станках

В зависимости от положения обрабатываемых поверхностей относительно базовых различают свободное и координатное протягивание и прошивание. Метод свободного протягивания (рис.

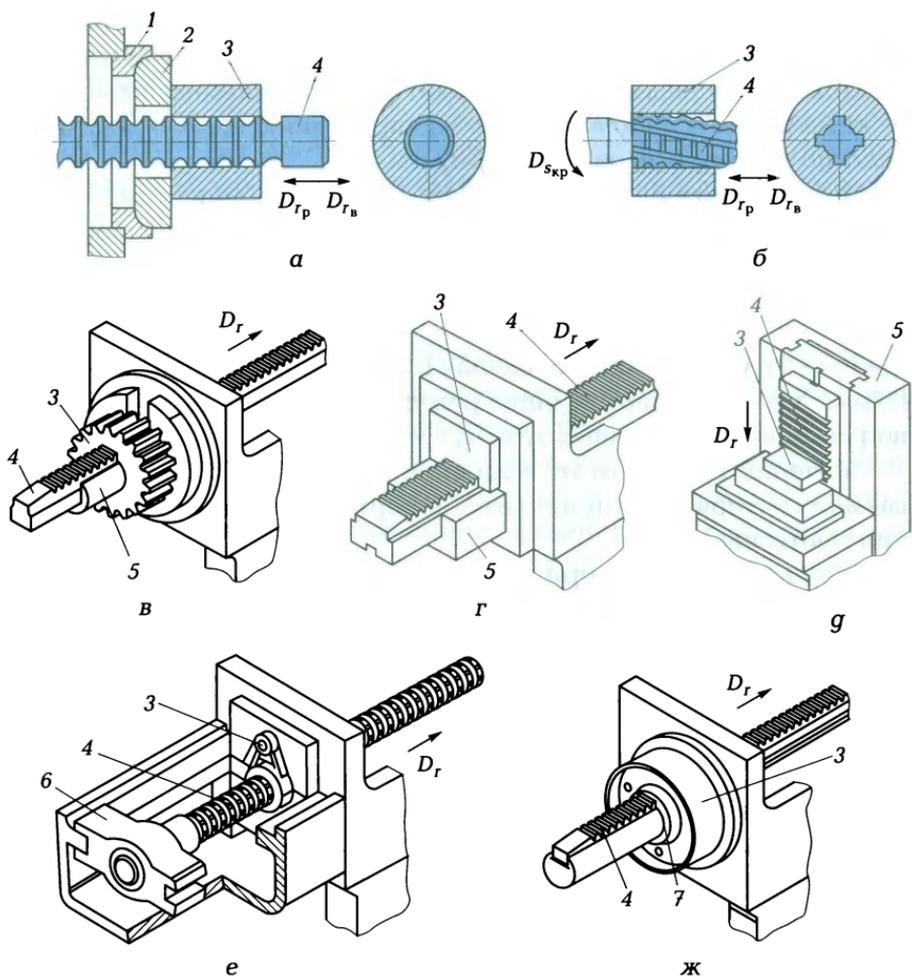


Рис. 8.4. Схемы свободного (а, б) и координатного (в–ж) протягивания внутренних и наружных поверхностей:

1 и 2 — детали; 3 — заготовка; 4 — протяжка; 5 и 6 — неподвижная и подвижная базы; 7 — предварительно обработанная база

8.4, а) наиболее широко используют при обработке разнообразных по форме цилиндрических (размером от 5 до 250 мм), шлицевых и многогранных отверстий, пазов, шлицов и т. д.

Точность расположения геометрического центра протянутого профиля отверстия относительно базовых поверхностей заготовок при свободном протягивании определяется точностью расположения геометрического центра отверстия, обработанного под протягивание.

При обработке цилиндрических отверстий, если торец отверстия в заготовке не обработан, то для установки заготовки применяют приспособления, детали 1 и 2 которых имеют опорные поверхности. Заготовка 3 в этом случае может самоустанавливаться (центрироваться) по оси протяжки. В тех случаях, когда после предыдущей обработки получен торец заготовки, перпендикулярный к оси протягиваемого отверстия, заготовка опирается на поверхность жесткой неподвижной детали приспособления. Также в поверхность жесткой детали приспособления упирается заготовка при протягивании прямых шлицов в отверстиях (в котором одновременно формируется весь его профиль). Винтовые шлицы обрабатывают протяжкой 4 (рис. 8.4, б), режущие зубья которой расположены по винтовой линии и либо протяжке 4, либо заготовке 3 сообщают вращательное движение. Этот способ можно отнести и к координатному протягиванию.

Метод координатного протягивания наряду с получением заданной формы поверхности обеспечивает расположение ее относительно базовой поверхности с точностью до 0,02... 0,03 мм. Координатное протягивание осуществляют, принудительно направляя протяжки по подвижным и неподвижным направляющим базам, а также закрепляя протяжки в протяжном блоке на инструментальной каретке, которая перемещается по направляющим вертикально-протяжного станка.

На рис. 8.4 (в – ж) представлены различные способы координатного протягивания: внутренних и наружных поверхностей с направлением протяжки непосредственно по неподвижным базам 5 приспособления на горизонтально-протяжных (см. рис. 8.4, в, г) и вертикально-протяжных (см. рис. 8.4, г) станках; внутренних поверхностей с применением подвижных направляющих баз 6 (передних и задних) (см. рис. 8.4, е); внутренних поверхностей с направлением протяжки по предварительно обработанной поверхности (базе) 7 заготовки на горизонтально- и вертикально-протяжных станках (см. рис. 8.4, ж).

Обрабатываемую заготовку при координатном протягивании точно и жестко фиксируют в специальном приспособлении, устанавливаемом на столе станка.

Цилиндрические зубчатые колеса с прямыми зубьями и другие детали, имеющие наружные пазы, изготавливают последовательным протягиванием впадины между зубьями за один или несколько проходов на горизонтальных и вертикальных протяжных станках с делительными автоматическими устройствами. На специальных протяжных автоматах с непрерывно вращающейся круглой про-

тяжкой специальной конструкции нарезают цилиндрические и конические зубчатые колеса с прямыми зубьями.

## **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

---

1. Каковы особенности процесса резания при строгании по сравнению с методом точения?
2. Что обеспечивает высокую точность формы и размеров обрабатываемой поверхности при протягивании?
3. Что обеспечивает центрирование заготовки по оси протяжки, если протягивается отверстие в литой или штампованной заготовке без ее предварительной обработки?
4. Чему будет равен диаметр отверстия после протягивания, если число рабочих зубьев круглой протяжки равно 30, подача на зуб составляет 0,05 мм/зуб, а диаметр исходного отверстия заготовки равен 97 мм?
5. Сколько рабочих зубьев должна иметь плоская протяжка, если на вертикально-протяжном станке с заготовки срезают припуск величиной 1,5 мм, а подача составляет 0,1 мм/зуб?
6. В каких целях иногда применяют протягивание вместо других методов обработки, например строгания, фрезерования?

# СВЕРЛЕНИЕ, РАССВЕРЛИВАНИЕ, ЗЕНКЕРОВАНИЕ, РАЗВЕРТЫВАНИЕ И РАСТАЧИВАНИЕ

## 9.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

### 9.1.1. Особенности технологических операций

**Сверление** применяют для обработки глухих и сквозных отверстий цилиндрических, конических и многогранных внутренних поверхностей.

Применяют две разновидности сверления:

- *собственно сверление* (получение отверстий диаметром до 12 мм в сплошном материале);
- *рассверливание* (увеличение диаметра ранее просверленного, отлитого, пробитого при штамповке, прошитого, полученного методами электрофизической или электрохимической обработки отверстия).

Сверление и рассверливание обеспечивают точность обработки отверстий по 10–11-му квалитетам и качество поверхности  $Rz$  80...20 мкм (при обработке отверстий малого диаметра в цветных металлах и сплавах до  $Ra$  2,5 мкм). Для получения более точных отверстий применяют зенкерование и развертывание.

**Зенкерование**, как и рассверливание, применяют для увеличения диаметра ранее полученного цилиндрического отверстия, а также для получения конических (коническими зенкерами) и плоских (торцами зенкеров при обработке ступенчатых отверстий) поверхностей. При зенкеровании после сверления получают точность по 9–10-му квалитетам, качество поверхности до  $Ra$  2,5 мкм.

**Развертывание** применяют для окончательной (чистовой) обработки в основном цилиндрических отверстий, реже — для чистовой обработки конических и торцовых поверхностей. Точность по 6–8-му квалитетам, качество поверхности  $Ra$  2,50...0,32 мкм.

## 9.1.2. Геометрические параметры режущей части сверл, зенкеров и разверток

Элементы режущей части наиболее распространенного спирального сверла показаны на рис. 9.1, а, б.

У спирального сверла два зуба, каждый из которых имеет свою вершину, главную и вспомогательную режущие кромки, свою переднюю поверхность, главную и вспомогательную задние поверхности. У сверла есть также поперечная режущая кромка (перемычка), которая позволяет сверлу обрабатывать отверстия диаметром до 12 мм в сплошном материале.

Геометрию спирального сверла определяют следующие углы заточки.

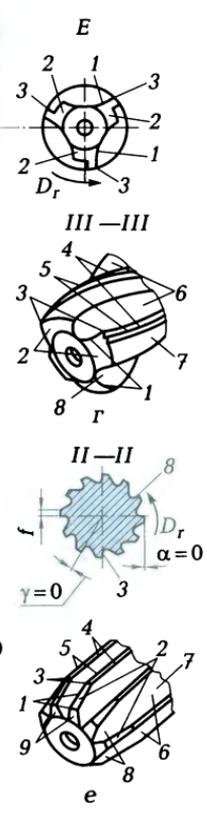
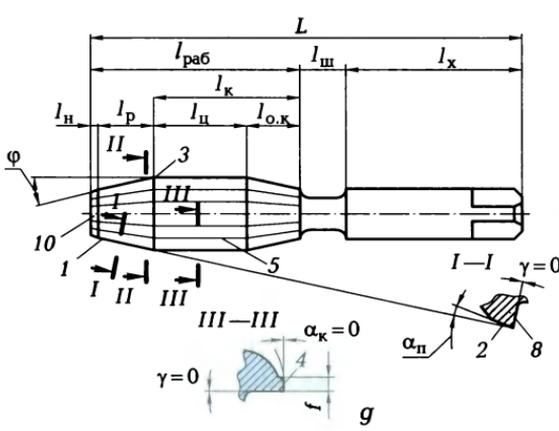
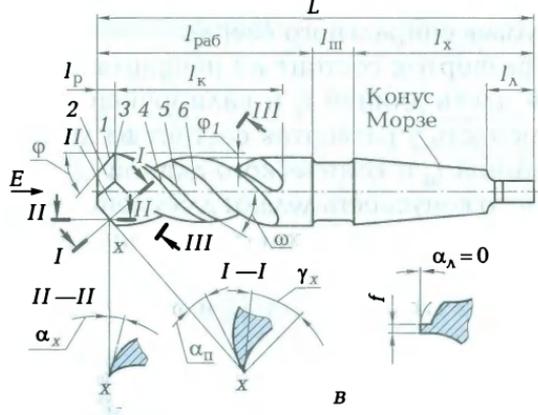
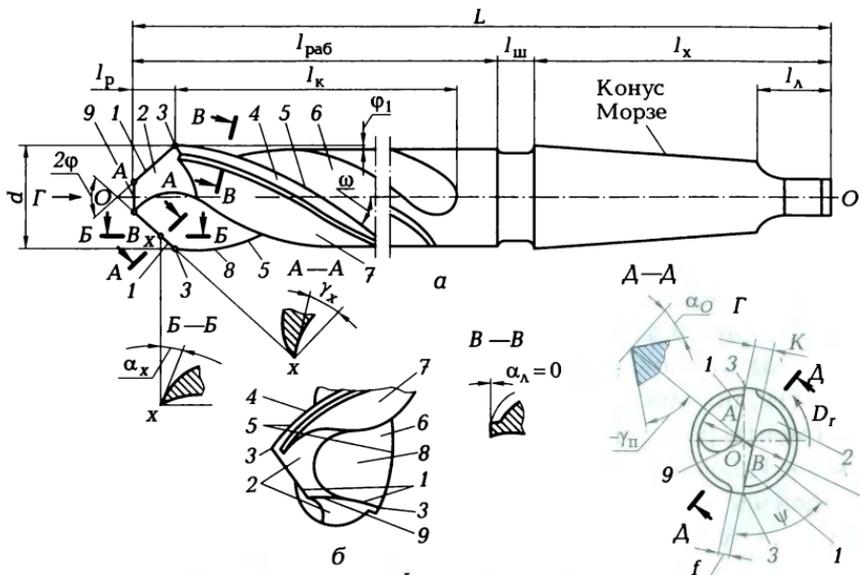
Передний угол  $\gamma_x$  в рассматриваемой точке  $x$  главной режущей кромки измеряют в плоскости  $I-I$ , нормальной к главной режущей кромке, между касательной к передней поверхности в рассматриваемой точке  $x$  и нормалью к поверхности, образованной вращением главной режущей кромки вокруг оси сверла.

Задний угол  $\alpha_x$  измеряют в плоскости, касательной к соосному со сверлом цилиндру, на поверхности которого лежит рассматриваемая точка  $x$  главной режущей кромки, между касательной к задней поверхности в точке  $x$  режущей кромки и касательной в той же точке к окружности ее вращения вокруг оси сверла. У наружной поверхности угол  $\gamma_x$  наибольший, а угол  $\alpha_x$  — наименьший.

Угол при вершине сверла  $2\varphi$  измеряют между главными режущими кромками. Угол  $2\varphi$  назначают в зависимости от обрабатываемого материала: для обработки стали, твердой бронзы  $2\varphi = 116 \dots 118^\circ$ , для обработки цветных металлов и их сплавов средней твердости  $2\varphi = 130 \dots 140^\circ$ .

Рис. 9.1. Элементы режущей части сверла (а, б), зенкера (в, г) и развертки (д, е):

1 — главная режущая кромка; 2 — главная задняя поверхность; 3 — вершина зуба; 4 — вспомогательная задняя поверхность (ленточка); 5 — вспомогательная режущая кромка; 6 — канавка; 7 — спинка зуба; 8 — передняя поверхность; 9 — перемычка (у сверла); 10 — направляющая часть (у развертки);  $L, l_{\text{раб}}, l_{\text{ш}}, l_x, l_p, l_k, l_n, l_{\text{ц}}, l_{\text{о.к}}$  — длина соответственно инструмента, его рабочей части, шейки, хвостовика, режущей части, калибрующей части, лапки цилиндрического участка и участка с обратной конусностью;  $D_r$  — главное движение;  $d$  — диаметр сверла;  $\varphi, \varphi_1$  — главный и вспомогательный углы в плане;  $\gamma_x, \alpha_x$  — передний и задний углы в точке  $x$ ;  $\alpha_o$  — задний угол перемычки в точке  $O$ ;  $\omega$  — угол наклона зуба;  $\psi$  — угол наклона перемычки;  $AB$  — перемычка;  $\alpha_\lambda$  — задний угол на ленточке;  $q$  — диаметр спинок зубьев



Угол наклона поперечной режущей кромки  $\psi$  измеряют между проекциями поперечной и главной режущих кромок на плоскость, перпендикулярную оси сверла.

Угол наклона винтовой канавки  $\omega$  измеряют по наружному диаметру. С ростом угла  $\omega$  увеличивают передний угол  $\gamma_x$ , при этом облегчается процесс резания и улучшается выход стружки. Рекомендуемые геометрические параметры сверла приведены в справочной литературе.

Вспомогательный угол в плане  $\phi_1$  создается обратной конусностью на рабочей части сверла в пределах 0,03...0,12 мм на 100 мм длины. Задние поверхности сверла затачивают по конической поверхности, по плоскости и по винтовой поверхности.

Элементы режущей части зенкеров и разверток показаны на рис. 9.1, в — е. Рабочая часть у зенкеров состоит из режущей части и калибрующей части — с обратной конусностью. Режущая часть наклонена к оси под углом в плане  $\phi$  и выполняет основную работу резания.

Спиральный зенкер имеет 3—4 зуба, практически с такой же геометрией, как у зубьев спирального сверла.

Рабочая часть у разверток состоит из направляющего конуса длиной  $l_n$ , режущей части длиной  $l_p$  и калибрующей части длиной  $l_k$ . Калибрующая часть у разверток состоит из двух участков: цилиндрического длиной  $l_{ц}$  и конического длиной  $l_{о.к}$  с обратной конусностью. Обратную конусность делают для уменьшения трения инструмента об обработанную поверхность и уменьшения величины разбивки отверстия.

Развертка имеет 6—12 зубьев. Углы  $\gamma$ ,  $\alpha_k$  и  $\omega$  у разверток обычно равны нулю.

Сверла, зенкеры и развертки изготавливают из инструментальной и быстрорежущей сталей, твердых сплавов ВК6, ВК8, ВК3М, ВК6М, ВК8В. Твердосплавные сверла широко применяют при обработке отверстий в жаропрочных и нержавеющей сталях и сплавах, титане и его сплавах, терморезистивных пластмассах.

### 9.1.3. Элементы режима резания и срезаемого слоя

Главное движение при сверлении, рассверливании, зенкерования и развертывании — вращательное  $D_r$ , а движение подачи — поступательное  $D_s$ . Схемы резания при сверлении, рассверливании, зенкерования и развертывании показаны на рис. 9.2. Скорость резания, м/мин или м/с, на периферии инструмента

$$v = \frac{\pi D n}{1000} \text{ или } v = \frac{\pi D n}{1000 \cdot 60},$$

где  $D$  — диаметр обработанной поверхности, мм;  $n$  — частота вращения инструмента, об/мин.

Подача  $s$  — величина перемещения инструмента вдоль оси за один оборот. Подача  $s_z$ , приходящаяся на один зуб инструмента,  $s_z = s/z$  ( $z$  — число зубьев инструмента).

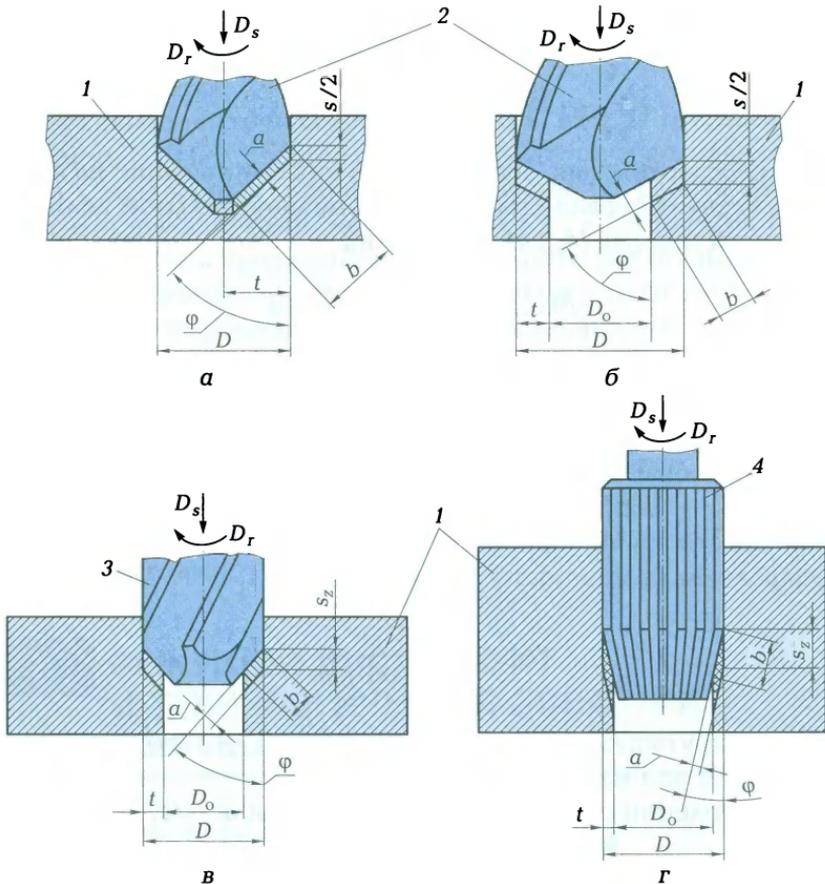


Рис. 9.2. Схемы резания:

$a$  — сверление;  $б$  — рассверливание;  $в$  — зенкерование;  $г$  — развертывание: 1 — заготовка; 2 — сверло; 3 — зенкер; 4 — развертка;  $D, D_o$  — диаметры обработанной и обрабатываемой поверхностей;  $D_r$  — главное движение;  $D_s$  — движение подачи;  $a, b$  — толщина и длина срезаемого слоя;  $s$  — подача на один оборот;  $s_z$  — подача на зуб;  $t$  — глубина резания;  $\varphi$  — главный угол в плане

Толщину  $a$  срезаемого слоя измеряют в направлении, перпендикулярном к главной режущей кромке инструмента, а ширину  $b$  срезаемого слоя — вдоль этой режущей кромки.

При сверлении под глубиной резания  $t$  подразумевают расстояние от обработанной поверхности до оси сверла ( $t = D/2$ ), а при рассверливании, зенкерования и развертывании — расстояние от обработанной до обрабатываемой поверхности:  $t = (D - D_0)/2$ .

При сверлении осевую силу  $P_0$  (силу подачи, Н), подсчитывают по формуле

$$P_0 = C_P D^{z_P} S^{y_P} k_P.$$

Крутящий момент  $M_{кр}$ , Н·м, резания при сверлении

$$M_{кр} = C_M D^{z_M} S^{y_M} k_M.$$

При рассверливании, зенкерования и развертывании на инструмент действует осевая сила (обычно незначительной величины) и крутящий момент  $M_{кр}$ , Н·м, резания

$$M_{кр} = C_M D^{z_M} t^{x_M} S^{y_M} k_M,$$

где  $C_P$  и  $C_M$  — постоянные коэффициенты, характеризующие обрабатываемый материал и условия его обработки;  $z_P$ ,  $y_P$ ,  $z_M$ ,  $x_M$ ,  $y_M$  — показатели степеней;  $D$ , мм,  $t$ , мм, и  $s$ , мм/об, — соответственно диаметр обрабатываемой поверхности, глубина резания, и подача;  $k_P$  и  $k_M$  — общие поправочные коэффициенты, учитывающие конкретные условия обработки.

Эффективная мощность, кВт, резания

$$N_e = \frac{M_{кр} n}{716 \cdot 200 \cdot 1,36},$$

где  $M_{кр}$  — крутящий момент резания, Н·м;  $n$  — частота вращения инструмента или изделия, об/мин.

При сверлении скорость резания, м/мин или м/с,

$$v = \frac{C_v D^{z_v}}{T^m S^{y_v}} k_v$$

или

$$v = \frac{C_v D^{z_v}}{T^m S^{y_v} \cdot 60} k_v.$$

При рассверливании, зенкерования и развертывании

$$v = \frac{C_v D^{z_v}}{T^m t^{x_v} s^{y_v}} k_v$$

или

$$v = \frac{C_v D^{z_v}}{T^m t^{x_v} s^{y_v} \cdot 60} k_v,$$

где  $C_v$  — постоянный коэффициент, характеризующий обрабатываемый материал и конкретные условия обработки;  $z_v$ ,  $x_v$ ,  $y_v$  — показатели степеней;  $m$  — показатель относительной стойкости;  $k_v$  — общий поправочный коэффициент, учитывающий конкретные условия обработки;  $T$  — период стойкости.

Сверильно-расточная группа станков, вторая группа по классификации ЭНИМС, состоит из двух подгрупп: сверильной и расточной. Сверильные станки предназначены для работы сверлами, зенкерами, развертками, метчиками и т.д., а расточные, помимо этого, в основном предназначены для работы расточными инструментами различной конструкции. В зависимости от расположения шпинделя сверильные станки подразделяют на вертикально- и горизонтально-сверильные, а в зависимости от количества шпинделей — на одно- и многошпиндельные. Настольно-сверильные станки выпускают для сверления отверстий диаметром до 16 мм; вертикально-сверильные и радиально-сверильные — для сверления отверстий диаметром до 100 мм. Горизонтально-сверильные станки предназначены для получения глубоких отверстий специальными сверлами.

## 9.2. РЕЖУЩИЙ ИНСТРУМЕНТ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНАСТКА СВЕРЛИЛЬНЫХ СТАНКОВ

### 9.2.1. Режущие инструменты

Отверстия на сверильных станках обрабатывают сверлами, зенкерами, развертками и метчиками. Все эти инструменты — осевые. Обработка этими инструментами осуществляется при главном вращательном движении  $D_r$  инструмента или заготовки и при одном движении подачи  $D_s$  (чаще инструмента) вдоль оси инструмента или обрабатываемой поверхности.

При обработке осевыми инструментами возможны три кинематические схемы:

- главное движение и движение подачи передают инструменту. Таковую схему реализуют на сверлильных, координатно-расточных, агрегатно-сверлильных и агрегатно-расточных станках. При этой схеме имеет место увод оси инструмента, если эта ось не совпадает с направлением подачи заготовки или инструмента;
- главное движение передают заготовке, а движение подачи — заготовке или инструменту. Используют на токарных, токарно-револьверных станках и токарных автоматах. Увод оси инструмента может иметь место в этом случае только из-за неодинаковости заточки зубьев инструмента;
- вращательное движение сообщается и заготовке ( $v_z$ , м/мин или м/с), и инструменту ( $v_{ин}$ , м/мин или м/с). Главным движением  $D_f$  в этом случае будет то, скорость которого больше (обычно это скорость вращения инструмента  $v_{ин}$ ).

Скорость резания (суммарная), м/мин или м/с, определяют по формуле  $v = v_z + v_{ин}$ .

Движение подачи сообщают либо инструменту, либо заготовке.

Таковую схему применяют только для сверления на некоторых автоматах и специальных станках. Диаметральный размер получается более точным, чем при предыдущей схеме.

Сверла по конструкции и назначению подразделяют на спиральные, центровочные и специальные. Наиболее распространенный для сверления и рассверливания инструмент — спиральное сверло (см. рис. 9.1, а, б), состоящее из рабочей части  $l_{раб}$ , шейки  $l_{ш}$ , хвостовика  $l_x$  и лапки  $l_\lambda$ .

В рабочей части  $l_{раб}$  различают режущую  $l_p$  и калибрующую-направляющую  $l_k$  части с винтовыми канавками. Шейка  $l_{ш}$  соединяет рабочую часть сверла с хвостовиком. Хвостовик  $l_x$  необходим для установки сверла в шпинделе станка. Лапка  $l_\lambda$  служит упором при выбивании сверла из отверстия шпинделя.

Элементы рабочей части и геометрические параметры спирального сверла показаны на рис. 9.1, б. Сверло имеет две главные режущие кромки 1, образованные пересечением передних 8 и главных задних 2 поверхностей лезвия и выполняющие основную работу резания; поперечную режущую кромку 9 (перемычку) и две вспомогательные режущие кромки 5. На калибрующей (направляющей, с обратной конусностью) части сверла вдоль винтовой канавки расположены две узкие ленточки 4 (вспомогательные задние поверхности), обеспечивающие направление сверла при резании и требуемую точность и качество обрабатываемой поверхности.

Зенкеры по виду обрабатываемых отверстий подразделяют на спиральные цилиндрические (см. рис. 9.1, *в, г*), конические (рис. 9.3, *а*) и торцовые (рис. 9.3, *б*). Зенкеры бывают цельные с коническим хвостовиком (см. рис. 9.1, *в, г*) и насадные (см. рис. 9.3, *б*).

Спиральный цилиндрический зенкер отличается от спирального сверла главным образом большим числом зубьев (три-четыре) и отсутствием перемычки.

Зенкерование, как было указано ранее, применяется при обработке ранее полученных отверстий и торцовых поверхностей.

Развертками, как было указано в подразд. 9.1, окончательно обрабатывают отверстия. По форме обрабатываемого отверстия различают цилиндрические (рис. 9.1, *г* и 9.3, *в*) и конические (рис. 9.3, *г*) развертки. Развертки имеют 6–12 главных режущих кромок  $l_k$ , расположенных на режущей части  $l_p$  с направляющим конусом  $l_n$ , вспомогательные режущие кромки расположены на калибрующей части  $l_k$ .

По конструкции закрепления развертки подразделяют на хвостовые (см. рис. 9.1, *г* и 9.3, *в, г*) и насадные (рис. 9.3, *г*, на котором показана машинная насадная развертка с механическим креплением режущих пластинок в ее корпусе).

Метчики применяют для нарезания внутренних резьб. Метчик (рис. 9.3, *е*) представляет собой винт с прорезанными прямыми или

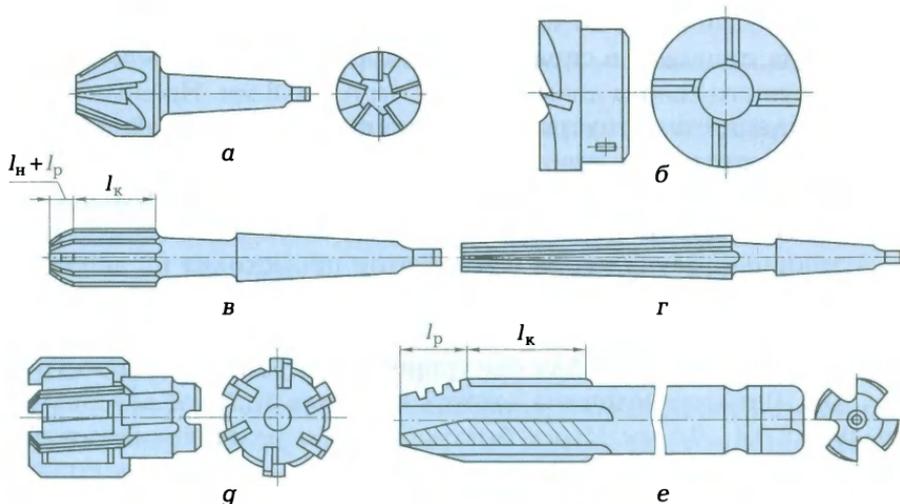


Рис. 9.3. Инструменты для обработки отверстий на сверлильных станках: *а, б* — зенкеры; *в, г, г* — развертки; *е* — метчик;  $l_n$ ,  $l_p$ ,  $l_k$  — соответственно направляющая, режущая и калибрующая части

винтовыми канавками, образующими режущие кромки. Рабочая часть метчика имеет режущую  $l_p$  и калибрующую  $l_k$  части. Профиль резьбы метчика должен соответствовать профилю нарезаемой резьбы. Метчик закрепляют в специальном патроне.

У зенкеров, разверток, метчиков, как и у сверл, режущие части выполняют основную работу резания. Калибрующие части служат для направления инструмента в отверстия и обеспечивают необходимую точность и качество обрабатываемой поверхности.

В процессе работы режущие элементы осевых инструментов подвергаются истиранию по передней, главной задней и вспомогательной поверхностям с одновременным тепловым воздействием. Это приводит к износу поверхностей инструментов (рис. 9.4, а, б), контактирующих с заготовкой и срезаемым слоем. Интенсивность изнашивания площадок сверл, зенкеров и разверток зависит от режима резания, материала режущей части и заготовки, от других условий обработки.

Изнашивание быстрорежущего сверла (см. рис. 9.4, а) протекает по передней 1, главной 2 и вспомогательной 3 задним поверхностям. Наиболее интенсивное изнашивание происходит по вспомогательным задним поверхностям 3 (ленточкам), имеющим значительную поверхность трения, и по задней поверхности в районе сопряжения главной и вспомогательной режущих кромок. По величине  $h_3$ , характеризующей этот износ, судят о возможности дальнейшей эксплуатации сверла.

Допустимый износ по задней поверхности  $h_3$  для разных случаев сверления приведен в справочной литературе. Например, для быстрорежущего сверла диаметром 20 мм  $h_3 = 0,8$  мм. Несоблюдение рекомендаций по допустимой величине износа сокращает срок службы инструмента: при большом износе на переточках инструмента приходится снимать много материала, а при малом износе — делать много переточек.

Изнашивание зенкеров и разверток происходит по ленточке и задней поверхности заборной части, образуя наиболее уязвимое место инструмента (см. рис. 9.4, б). Допустимый износ устанавливается по величине  $h_3$ . Для быстрорежущих зенкеров диаметром  $D = 10 \dots 50$  мм эта величина лежит в пределах 1 ... 2 мм, для твердосплавных 0,4 ... 0,6 мм. Износ быстрорежущих разверток не должен превышать 0,6 ... 0,8 мм.

При достижении установленной величины износа осевые инструменты перетачивают для восстановления их режущих свойств. Переточку сверл, зенкеров и разверток осуществляют по главным задним поверхностям и в некоторых случаях по передней поверх-

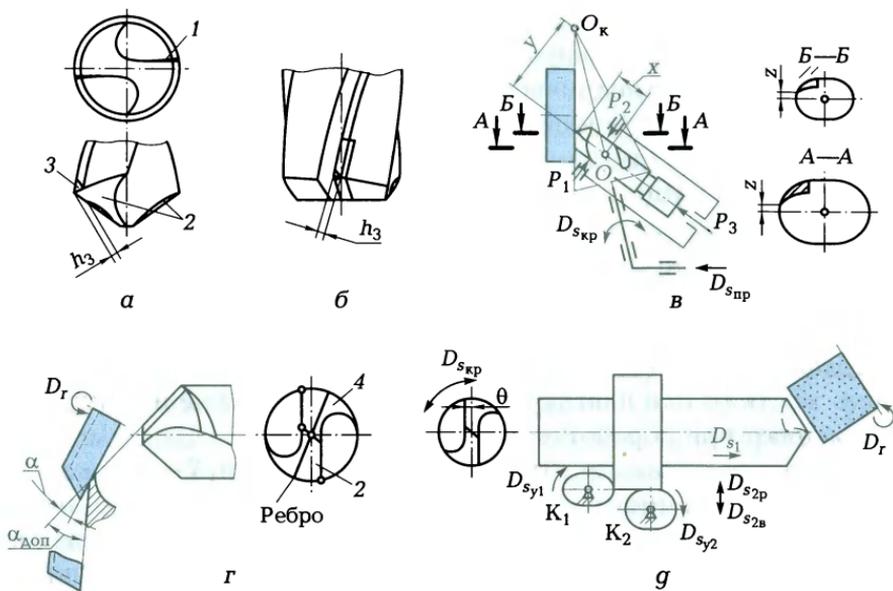


Рис. 9.4. Места износа сверла [а] и зенкера [б] и схемы заточки сверл по конической поверхности [в], по плоскости [г], по винтовой поверхности [д]:

1 — передняя поверхность; 2, 3 и 4 — главная, вспомогательная, дополнительная задние поверхности;  $K_1, K_2$  — кулачки;  $P_1, P_2, P_3$  — силы зажима сверла в приспособлении;  $D_{snp}$  — продольная подача;  $D_{skp}$  — круговая возвратно-вращательная подача сверла;  $D_{sy1}, D_{sy2}$  — установочные вращательные движения кулачков  $K_1$  и  $K_2$ ;  $D_{s2p}$  и  $D_{s2в}$  — соответственно рабочий и вспомогательный ходы поперечной подачи сверла;  $h_3$  — ширина износа

ности. Для заточки спиральных сверл применяют специальные заточные станки. Некоторые схемы заточки сверл приведены на рис. 9.4, в, г, д.

## 9.2.2. Технологическая оснастка сверлильных станков

При обработке на сверлильных станках применяют различные приспособления для установки и укрепления заготовок на столах и инструментов на шпинделях станков.

Заготовки устанавливают на столе станка, снабженном Т-образными пазами, следующими способами: закрепляя прижимными планками или в машинных тисках; на угольник со столом, который может поворачиваться на необходимый угол и у которого есть

T-образные пазы, позволяющие закрепить на этом столе приспособление с обрабатываемой заготовкой; в трех- или четырехлачковых патронах (цилиндрические заготовки); на призму с закреплением заготовки струбцинами; с помощью кондукторов, снабженных направляющими втулками, которые обеспечивают определенное положение режущего инструмента относительно обрабатываемой заготовки, закрепляемой в корпусе кондуктора. Необходимость в разметке при использовании кондукторов отпадает.

Режущий инструмент в шпинделе сверлильного станка закрепляют с помощью вспомогательного инструмента: переходных втулок сверлильных патронов и оправок. Крепление инструмента может быть жестким или плавающим. Жесткое крепление инструмента применяют при обработке неточных отверстий.

При развертывании отверстий с точностью по 7-му качеству с направлением инструмента по кондукторным втулкам или по ранее обработанному отверстию необходимо применять самоустанавливающиеся патроны (качающиеся и плавающие), которые позволяют устранить деформации инструмента и шпинделя и свободно ориентировать инструмент относительно кондукторных втулок или обрабатываемого отверстия.

Режущие инструменты с коническим хвостовиком закрепляют непосредственно в конической отверствии шпинделя сверлильного станка. Если размер конуса хвостовика инструмента меньше размера конического отверстия шпинделя, то применяют переходные конические втулки. Инструменты с цилиндрическим хвостовиком закрепляют в двух-, трехлачковых или цанговых патронах.

### 9.3. СХЕМЫ ОБРАБОТКИ ЗАГОТОВОК НА СВЕРЛИЛЬНЫХ СТАНКАХ

---

На сверлильных станках выполняют сверление, рассверливание, зенкерование, развертывание, цекование, зенкование, нарезание внутренней резьбы и обработку сложных отверстий.

Схемы обработки заготовок, режущий инструмент и возможности сверления, рассверливания, зенкерования, развертывания приведены в подразд. 9.1 и 9.2.

Добавим, что **сверление** и **рассверливание** — это грубая обработка.

В зависимости от требуемой точности и величины партии обрабатываемых заготовок отверстия сверлят в кондукторе или по разметке.

Диаметр отверстия под рассверливание выбирают так, чтобы поперечная режущая кромка в работе не участвовала. В этом случае осевая сила уменьшается.

**Зенкерование** относится к получистовому виду обработки поверхностей отверстий, при этом методе снимают небольшие припуски 0,5...3 мм. Зенкер — более жесткий инструмент, чем сверло, и поэтому он исправляет искривление оси обрабатываемого отверстия после увода сверла, повышает точность обработки и качество поверхности цилиндрического отверстия.

**Развертывание** — чистовой метод обработки отверстий. Под развертывание оставляют небольшой припуск на сторону 0,05...0,5 мм, и поэтому развертка не может исправить искривление оси отверстия, но увеличивает точность диаметрального размера и качество обработанной поверхности.

Применяют однократное, двухкратное и трехкратное развертывания. Однократное развертывание осуществляют черновой разверткой, оно обеспечивает точность по 8–9-му квалитетам; двухкратное развертывание осуществляют черновой и получистовой развертками, точность — по 7-му квалитету; трехкратное развертывание осуществляют черновой, получистовой и чистовой развертками, точность — до 6-го квалитета.

**Цекование** — обработка торцевой поверхности отверстия торцовым зенкером для достижения перпендикулярности плоской торцевой поверхности к оси (рис. 9.5, а).

**Зенкованием** получают в имеющихся отверстиях цилиндрические или конические углубления под головки винтов, болтов,

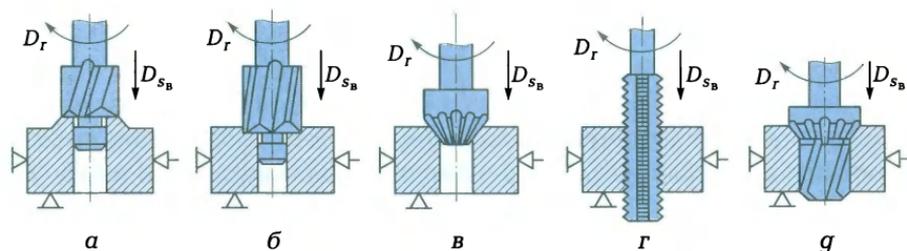


Рис. 9.5. Схемы обработки заготовок на вертикально-сверлильном станке: а — цекование; б, в — зенкование; г — нарезание резьбы; г — комбинированная обработка;  $\nabla$  — неподвижная опора;  $\triangleleft$  — зажим

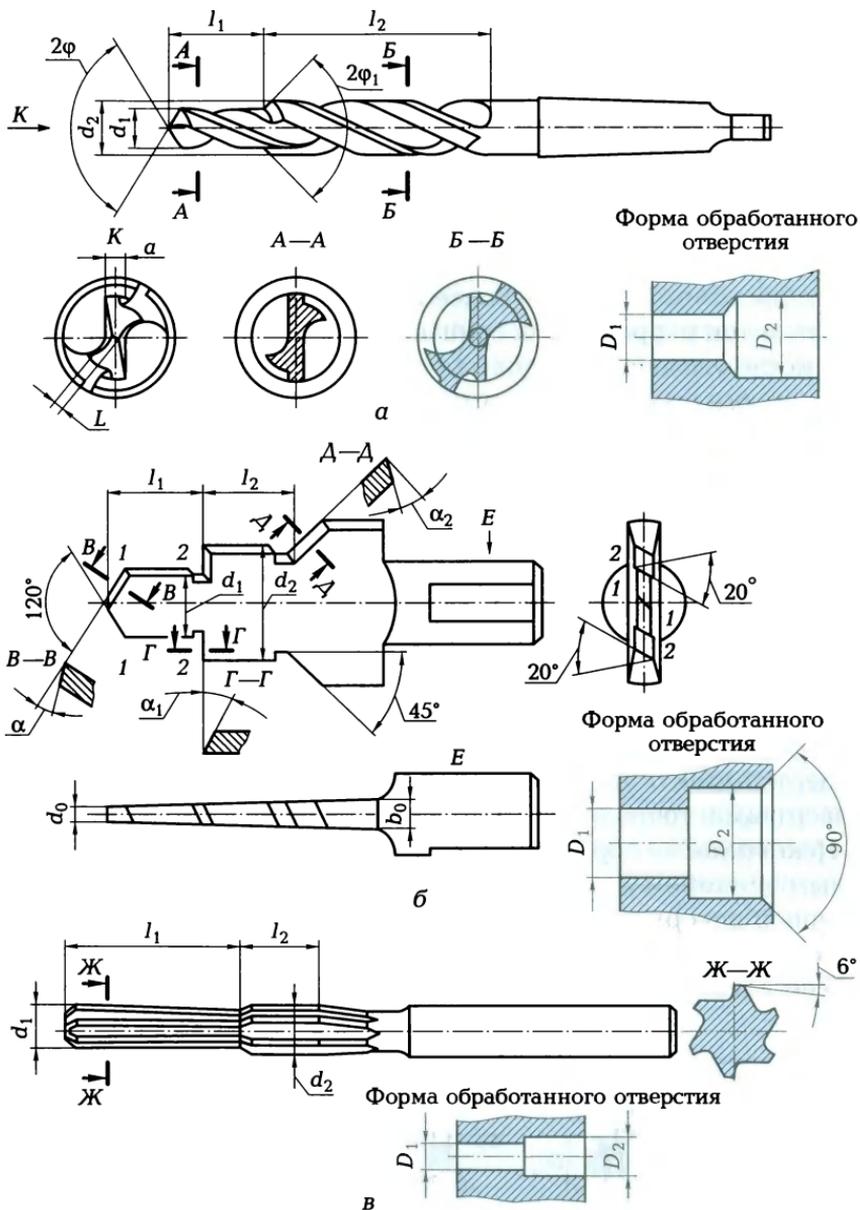


Рис. 9.6. Комбинированные инструменты:

*а* — двухступенчатое спиральное сверло; *б* — перовое трехступенчатое сверло; *в* — двухступенчатая развертка;  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $l_1$ ,  $l_2$  — диаметры и длины ступеней инструментов;  $D_1$ ,  $D_2$  — диаметры обработанных отверстий;  $a$  — толщина зуба на 1-й ступени;  $L$  — длина ленточки;  $d_0$ ,  $b_0$  — наименьшая и наибольшая толщина перового сверла

заклепок и других деталей. На рис. 9.5, б, в показано зенкование цилиндрического углубления цилиндрической зенковкой и конического углубления коническим зенкером.

**Нарезание внутренней резьбы** — получение на внутренней цилиндрической поверхности с помощью метчика винтовой канавки (рис. 9.5, г).

**Сверление глубоких отверстий** (длина отверстия больше пяти его диаметров) выполняют на специальных горизонтально-сверлильных станках. При обработке глубоких отверстий спиральными сверлами происходит увод сверла и «разбивание» отверстия, затрудняются подвод смазочно-охлаждающей жидкости и отвод стружки. В связи с чем глубокие отверстия сверлят сверлами специальной конструкции. Смазочно-охлаждающая жидкость, подаваемая в зону резания, вымывает стружку через внутренний канал сверла.

**Комбинированную обработку отверстий** применяют в серийном и массовом производстве в целях повышения производительности и улучшения качества обработки заготовок. Она осуществляется комбинированным инструментом.

Комбинированные инструменты позволяют совместить в один проход последовательно черновую и чистовую обработку одной поверхности, осуществить обработку фасонной поверхности одного или нескольких отверстий за один проход, совместить различные операции: сверление и зенкерование, сверление или зенкерование и развертывание, сверление и резьбонарезание, сверление и фрезерование, зенкование и зенкерование (рис. 9.5, г).

Замена нескольких операций или переходов, осуществляемых последовательно нормальными инструментами, одной операцией, выполняемой комбинированным инструментом, не только увеличивает производительность труда и снижает себестоимость обработки, но и повышает точность изготовления детали. К комбинированному инструменту относятся и центровочные сверла (см. поз. 14 на рис. 7.1, а).

При обработке ступенчатых отверстий комбинированными инструментами обеспечивается более строгая соосность и точность осевых размеров ступеней и перпендикулярность торцовых участков к оси отверстия по сравнению с последовательной обработкой несколькими нормальными инструментами.

Некоторые типы комбинированных инструментов для обработки ступенчатых отверстий показаны на рис. 9.6.

**Недостатки** комбинированного инструмента — это трудоемкость его изготовления, некоторая сложность его переточки.

### 9.4.1. Характеристика метода и режимы резания

Формообразование поверхности на расточных станках (к которым относятся и агрегатные станки) происходит за счет сочетания главного вращательного движения резца или другого режущего инструмента и движения подачи, сообщаемого инструменту или заготовке. Направление движения подачи может быть продольным, поперечным, радиальным и вертикальным в зависимости от характера обрабатываемой поверхности.

При работе на расточных станках вращательное движение инструмента характеризуют скоростью главного движения резания.

За скорость главного движения резания принимают окружную скорость вращающегося режущего инструмента, м/с:

$$v = \pi Dn / (1\,000 \cdot 60),$$

где  $D$  — диаметр обработанной поверхности, мм;  $n$  — частота вращения режущего инструмента, об/мин.

Подача  $s$  — перемещение режущего инструмента (или заготовки) относительно обрабатываемой поверхности (измеряется в миллиметрах в минуту или за один оборот шпинделя).

Глубина резания  $t$ , мм, при растачивании отверстий

$$t = (D - D_0) / 2,$$

где  $D$  — диаметр отверстия после обработки, мм;  $D_0$  — диаметр отверстия до обработки, мм.

### 9.4.2. Технологическое оборудование

Расточные станки подразделяют на горизонтально-расточные, координатно-расточные, алмазно-расточные и специальные.

Наиболее широко распространены **горизонтально-расточные станки**, на которых чаще всего обрабатывают заготовки крупно- и среднегабаритных корпусных деталей.

На **координатно-расточных станках** обрабатывают с высокой точностью отверстия, при этом обеспечивается большая точность расположения их осей. Координатно-расточные станки используют

также для точных измерений и разметки. Наибольшее применение эти станки получили в инструментальном производстве для изготовления штампов, пресс-форм, шаблонов, копиров и т. д.

На **алмазно-расточных станках** окончательно обрабатывают отверстия алмазными и твердосплавными резцами.

Алмазно-расточные станки широко применяют для растачивания отверстий в блоках цилиндров и гильзах тракторных, автомобильных и мотоциклетных двигателей.

На базе горизонтально- и координатно-расточных станков создают **расточные станки с ЧПУ**. На этих станках весь цикл обработки заготовки проводят в автоматическом или полуавтоматическом режиме. В последнем случае программируют установку заготовки относительно инструмента в заданных координатах и фиксацию подвижных узлов станка.

Станки с ЧПУ могут быть многооперационными с автоматической сменой инструментов, предназначенных для комплексной обработки заготовок.

**Агрегатные станки** относят к числу специальных расточных станков и широко применяют в серийном, крупносерийном и массовом производстве.

Агрегатными называют специальные станки, состоящие из нормализованных деталей и узлов (агрегатов). При их создании применяют и оригинальные детали и узлы.

Обрабатываемую заготовку закрепляют, как правило, неподвижно в приспособлении, установленном на столе агрегатного станка, и обрабатывают с одной, двух или нескольких сторон одновременно многими инструментами, закрепленными в рабочих шпинделях станка. Шпиндели подают в осевом направлении от силовых головок. Основные стандартные и нормализованные узлы агрегатных станков — это силовые головки; основания, станины, колонны, на которых монтируются рабочие узлы; шпиндельные коробки, в которых расположены шпиндели; элементы привода.

Базовые корпусные узлы агрегатных станков, которые выполняют литыми из чугуна или сварными стальными с точно обработанными стыковыми поверхностями, служат для установки и закрепления на них всех других узлов станка. К унифицированным базовым корпусным деталям относят круглые и полукруглые, двухсторонние и боковые станины, прямоугольные и арочные стойки, упорные угольники, станины-подставки и т. д.

При комплектовании различных агрегатных станков можно применять горизонтально- и вертикально-сверлильные головки, горизонтально- и вертикально-фрезерные и другие головки.

Компонуя несколько силовых головок, шпиндельных коробок и других узлов, располагая их на станинах и стойках, получают разнообразные агрегатные станки.

### 9.4.3. Режущий инструмент и технологическая оснастка расточных станков

На расточных станках для обработки поверхностей используют различные инструменты: резцы, сверла, зенкеры, развертки, метчики, фрезы.

**Расточные резцы** по форме поперечного сечения стержня подразделяют на квадратные, прямоугольные и круглые (рис. 9.7, а, б).

В зависимости от вида обработки используют расточные резцы различных типов: проходные, подрезные, канавочные и резьбовые. Широко применяют пластинчатые резцы — основной инструмент для растачивания отверстий диаметром более 20 мм. Пластинчатые резцы подразделяют на одно- и двухлезвийные (рис. 9.7, в). Двухлезвийные пластинчатые резцы выполняют по размеру растачиваемого отверстия.

**Расточные блоки** (рис. 9.7, г) представляют собой сборную конструкцию, состоящую из корпуса 3 и вставных регулируемых резцов 4, закрепленных винтами 1 и гайками 2. Резцы регулируют по диаметру растачиваемого отверстия.

**Расточные головки** применяют для обработки отверстий большого диаметра. На рис. 9.7, д показана разъемная расточная головка для обработки отверстий диаметром 130...225 мм. Подрезные резцы 4 головки предварительно устанавливают по диаметру и торцу на заданный размер. Это позволяет обрабатывать ряд соосных отверстий как по диаметру, так и по торцам.

**Специальные развертки** с нерегулируемыми и регулируемыми ножами применяют для окончательной обработки отверстий после предварительного растачивания их резцами. Регулируемая плавающая развертка (рис. 9.7, е) имеет два ножа 5, взаимно перемещающихся по шпонке 6 и скрепленных винтами 1 при упоре в винт 7, положение которого регулируют в зависимости от заданного размера обрабатываемого отверстия. Развертка оснащена пластинами из твердого сплава.

Заготовки на столе расточного станка закрепляют с помощью различных **универсальных приспособлений**: прижимных планок, станочных болтов, угольников, призм.

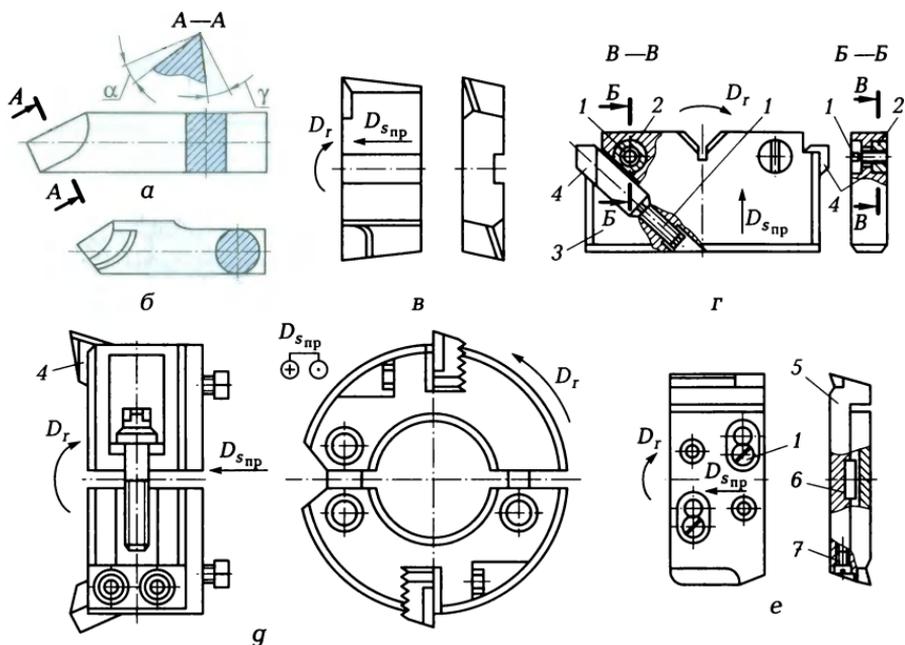


Рис. 9.7. Режущий инструмент для растачивания отверстий:

*a, б* — формы поперечного сечения стержня (квадратная, прямоугольная и круглая); *в* — двухлезвийный пластинчатый резец; *г* — расточные блоки; *г* — разъемная расточная головка; *е* — регулируемая плавающая развертка: 1 — винты; 2 — гайки; 3 — корпус; 4 — резцы; 5 — ножи; 6 — шпонка; 7 — винт-упор

При обработке отверстий и плоскостей, расположенных под углом к основанию заготовки или друг к другу, применяют угольники. Заготовки с опорными поверхностями цилиндрической формы устанавливают на призмы.

Корпусные детали отличаются большим многообразием форм и размеров обрабатываемых поверхностей и точностью их обработки. В зависимости от этого используют различные конструкции расточных кондукторов для закрепления корпусных заготовок и обеспечения правильного положения инструмента относительно обрабатываемой поверхности.

Режущий инструмент на расточных станках закрепляют с помощью **вспомогательного инструмента**: консольных оправок (рис. 9.8, *a, б*), двухопорных оправок (рис. 9.8, *в*) и патронов. Использование вспомогательного инструмента обусловлено тем, что резец нельзя непосредственно закреплять в расточном шпинделе или на радиальном суппорте. Расточные оправки имеют прямоугольные, квадратные или круглые окна, расположенные под

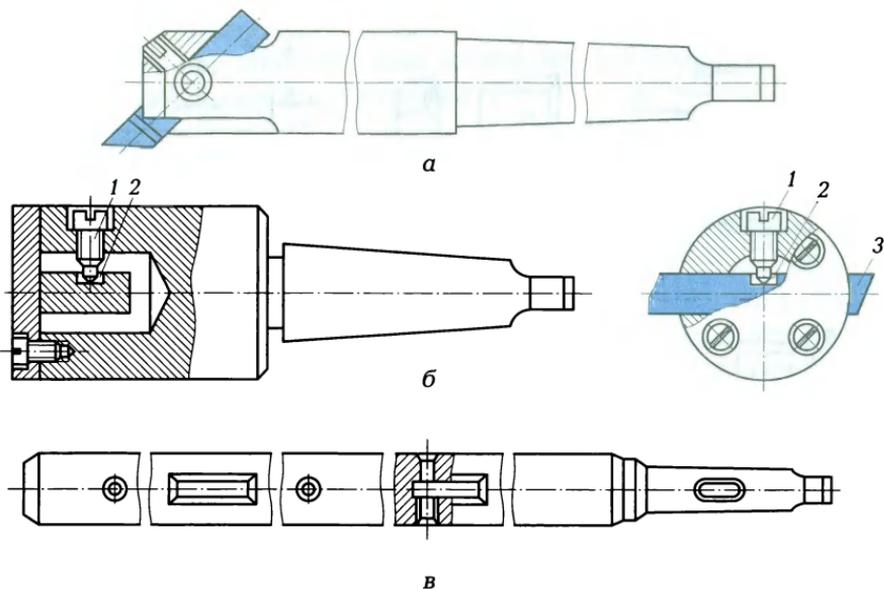


Рис. 9.8. Оправки для закрепления режущего инструмента на расточных станках:

*а* — удлиненная консольная оправка; *б* — консольная оправка для пластинчатых плавающих разверток; *в* — двухопорная расточная оправка: 1 — винт; 2 — паз; 3 — пластина

углом 45 или 90° к оси оправки, для установки резцов. Короткие консольные оправки предназначены для закрепления одного или двух резцов при растачивании глухих и сквозных отверстий небольшой длины.

Для растачивания отверстий, находящихся на большом расстоянии от торца планшайбы станка, или нескольких соосных отверстий используют удлиненные консольные оправки (см. рис. 9.8, *а*). Применяют консольные оправки также для пластинчатых плавающих разверток (см. рис. 9.8, *б*). Пластины 3 вставляют в гнездо оправки и винтом 1 удерживают от выпадения. В то же время благодаря наличию небольшого зазора (0,10...0,15 мм) между пазом 2 пластины 3 и винтом 1 развертка может самоустанавливаться («плавать»).

Двухопорная расточная оправка (см. рис. 9.8, *в*) представляет собой длинный вал с коническим хвостовиком на одном конце для установки его в шпинделе станка. Другой конец оправки закрепляют в люнете задней стойки станка. По длине оправки расположены окна для установки стержневых и пластинчатых резцов.

Для закрепления стандартных многолезвийных режущих инструментов (сверл, зенкеров, разверток, фрез и т.д.) на расточных станках применяют специальные оправки, переходные втулки и патроны.

#### 9.4.4. Схемы обработки заготовок на расточных станках

На расточных станках обрабатывают отверстия, наружные цилиндрические и плоские поверхности, уступы, канавки, режут конические отверстия и нарезают внутреннюю и наружную резьбы резцами. Наиболее распространенный вид обработки на расточных станках — растачивание отверстий резцами.

Расточные резцы работают в менее благоприятных условиях, чем токарные. Они имеют меньшие размеры, зависящие от размера оправок, в которых их закрепляют, и диаметра обрабатываемого отверстия.

**Растачивание цилиндрических отверстий** выполняют резцами, установленными на консольной или двухопорной оправке. Использование консольной оправки целесообразно в тех случаях, когда длина обрабатываемого отверстия  $l \leq 5D$ , так как с увеличением длины оправки снижается ее жесткость.

На рис. 9.9 приведены различные схемы обработки заготовок на горизонтально-расточных станках.

На рис. 9.9, а показана схема растачивания отверстия небольшой длины двухлезвийным пластинчатым резцом, закрепленным в консольной оправке. Заготовке сообщают продольную подачу. При небольшой длине отверстия, когда возможна работа с короткой жесткой оправкой, его растачивают при осевой подаче расточного шпинделя. Растачиванием с продольной подачей заготовки получают более правильное отверстие вследствие постоянного вылета шпинделя. Отверстия с отношением  $l/D > 5$  и соосные отверстия растачивают резцами, закрепленными в двухопорной оправке.

На рис. 9.9, б показано одновременное растачивание двух соосных отверстий. Оправка с резцами получает главное вращательное движение резания, а заготовка — движение продольной подачи в направлении от задней стойки к шпиндельной бабке.

Отверстия большого диаметра, но малой длины растачивают резцом, закрепленным в радиальном суппорте планшайбы (рис. 9.9, в). Планшайбе с резцом сообщают главное вращательное движение резания, а столу с заготовкой — движение продольной подачи.

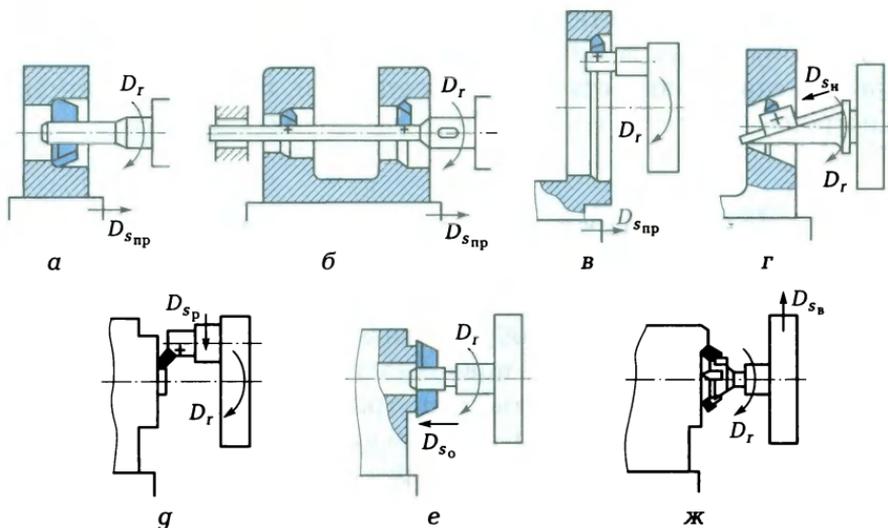


Рис. 9.9. Схемы обработки заготовок на горизонтально-расточных станках: а, б, в, г — растачивание; г, е — подрезание торцов резцами; ж — фрезерование

Отверстия диаметром более 130 мм обрабатывают расточными блоками и головками.

**Растачивание параллельных и взаимно-перпендикулярных отверстий** выполняют с одной установки заготовки. После растачивания первого отверстия перемещают стол в поперечном направлении или шпиндельную бабку в вертикальном направлении на величину, равную межцентровому расстоянию, затем растачивают второе и другие отверстия. Если требуется расточить взаимно-перпендикулярные отверстия, то после растачивания первого отверстия стол поворачивают на  $90^\circ$  и растачивают второе отверстие.

**Растачивание конических отверстий** осуществляют расточными головками, закрепленными в расточном шпинделе, которому сообщают движение подачи вдоль образующей конуса. Конические отверстия диаметром более 80 мм растачивают резцом с использованием универсального приспособления, смонтированного на радиальном суппорте планшайбы (рис. 9.9, г).

**Сверление, зенкерование, развертывание, цекование, зенкование и нарезание резьбы метчиками** выполняют на расточных станках так же, как и на вертикально-сверлильных. Инструмент закрепляют в расточном шпинделе и сообщают ему главное вращательное движение резания и движение осевой подачи. Заготовка, установленная на столе станка, остается неподвижной.

**Подрезание торцов** выполняют двумя способами: движением подачи резца в направлении, перпендикулярном или параллельном оси шпинделя.

На рис. 9.9, *г* показано подрезание торца проходным резцом, закрепленным на радиальном суппорте планшайбы. Резцу, вращающемуся вместе с планшайбой, сообщают движение радиальной подачи перемещением суппорта по направляющим планшайбы. Небольшие плоскости подрезают пластинчатым резцом (рис. 9.9, *е*), которому сообщают движение осевой подачи перемещением расточного шпинделя. Обработка торцовых поверхностей с движением радиальной подачи обеспечивает большую их точность.

**Фрезерование поверхностей** показано на рис. 9.9, *ж*. При фрезеровании вертикальной плоскости торцовой фрезерной головкой, закрепленной в расточном шпинделе, фрезе сообщают главное вращательное движение резания и движение вертикальной подачи перемещением шпиндельной бабки.

При использовании специальных приспособлений на горизонтально-расточных станках можно обрабатывать фасонные поверхности и нарезать резьбу резцами.

## **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

---

1. Каковы особенности процесса резания при сверлении по сравнению с методом точения?
2. При каких условиях применяют рассверливание, зенкерование и развертывание отверстий?
3. Как вы предлагаете проводить обработку соосных отверстий в нескольких стенках корпусных деталей?
4. Какими способами можно обрабатывать плоскую поверхность на расточном станке?
5. Каковы достоинства агрегатных станков и их значение в автоматизации производства деталей машин?

# ЗУБООБРАБОТКА И РЕЗЬБООБРАБОТКА

## 10.1. ЗУБООБРАБОТКА

### 10.1.1. Общие сведения о зубообрабатывающих станках

Зубчатые колеса широко применяют в передачах машин. На зубообрабатывающих станках выполняют фасонные поверхности различного профиля (наиболее распространены эвольвентные).

При изготовлении цилиндрических (внешнего и внутреннего зацепления), некруглых, конических, червячных зубчатых колес, зубчатых реек и червяков важнейшая операция — получение зубчатого венца, т. е. обработка зубьев этих колес, реек и витков червяков на их заготовках. Для оценки точности изготовления различных типов зубчатых колес установлены 12 степеней точности, обозначаемых в порядке убывания точности цифрами 1, 2, ..., 12, а для зубчатых реек установлены 10 степеней точности, обозначаемых цифрами 1, 2, ..., 10 также в порядке убывания точности.

Зубообрабатывающие станки классифицируют следующим образом.

**По назначению** различают станки для нарезания цилиндрических колес, червячных колес, конических колес, шевронных колес и зубчатых реек.

**По характеру рабочего движения и виду режущего инструмента** станки подразделяют на зубофрезерные, работающие фрезами; зубодолбежные, работающие долбяками; зубострогальные, работающие рейками-гребенками или специальными резцами; зубопротяжные (работающие фасонной протяжкой); зубопритирочные (работающие притиром); зубошевинговальные (работающие шевером — рейкой, дисковым шевером), зубошлифовальные (работающие шлифовальными кругами).

**По виду обработки** различают станки для черновой обработки зубьев; для чистовой обработки зубьев; для приработки зубчатых колес; для доводки зубьев; для закругления торцов зубьев.

Зубообрабатывающие станки, применяемые в промышленности, обычно работают по полуавтоматическому циклу, т. е. рабочий проводит только установку и съем заготовки, а также включение и выключение станка, а все остальные движения автоматизированы и управляются программными устройствами.

## 10.1.2. Способы получения зубчатого венца у цилиндрических зубчатых колес

Технологические процессы изготовления цилиндрических зубчатых колес различных типов можно разделить на две группы. К первой группе относят процессы, основанные на применении обработки без снятия стружки, при которых получение зубчатого венца неотделимо от процесса получения зубчатых колес в целом (например, литье под давлением). Ко второй группе относят процессы, при которых получение зубчатого венца выделяют в самостоятельную операцию. В отдельных случаях можно применять комбинированные технологические процессы: зубчатое колесо изготавливают с помощью какого-либо из вариантов, отнесенных к первой группе, но в целях повышения точности зубчатый венец подвергают дополнительной обработке.

**Нарезание зубьев** проводят чаще всего методом обката. Метод копирования применяют при обработке зубчатых колес неэвольвентного профиля (например, в часовой промышленности), а также в практике работы ремонтных и инструментальных цехов.

Сущность метода обката заключается в том, что в процессе нарезания зубьев заготовке (нарезаемому колесу) и инструменту принудительно сообщают движения, воспроизводящие собой движения готового зубчатого колеса и находящихся с ним в зацеплении зубчатого колеса, рейки или червяка (в зависимости от того, что является инструментом: долбяк, гребенка или червячная фреза).

Предварительную (часто она же бывает окончательной) обработку зубчатого венца по методу обката проводят червячными фрезами (рис. 10.1, а), зуборезными долбяками (рис. 10.1, б, в).

Сущность метода копирования заключается в том, что профиль инструмента (рис. 10.1, г) соответствует профилю впадины (канавки) зубчатого колеса, причем каждая канавка нарезается индивиду-



ально, после чего при помощи делительных механизмов заготовку поворачивают на угловой шаг.

Предварительную обработку зубчатого венца по методу копирования проводят модульными дисковыми и пальцевыми (рис. 10.1, *г*) фрезами, многолезцовыми головками, фасонными протяжками и т.д.

Накатывание зубчатых колес проводят накатниками (рис. 10.2) по методу обката. В этом случае процесс зубообразования осуществляется без снятия стружки путем пластической деформации поверхностного слоя заготовки.

**Зубофрезерование червячными фрезами** в качестве способа обработки зубчатого венца распространено наиболее широко.

Одна и та же червячная фреза с данным модулем  $m$  и углом зацепления  $\alpha$  может нарезать зубчатые колеса эвольвентного профиля с различным числом зубьев. Однако для нарезания зубьев циклоидального профиля для каждого числа зубьев необходима своя фреза.

Рассматриваемый способ не применим для нормальных колес с малым числом зубьев вследствие подрезания ножки зуба. Для возможности фрезерования зубчатых колес с малым числом зубьев

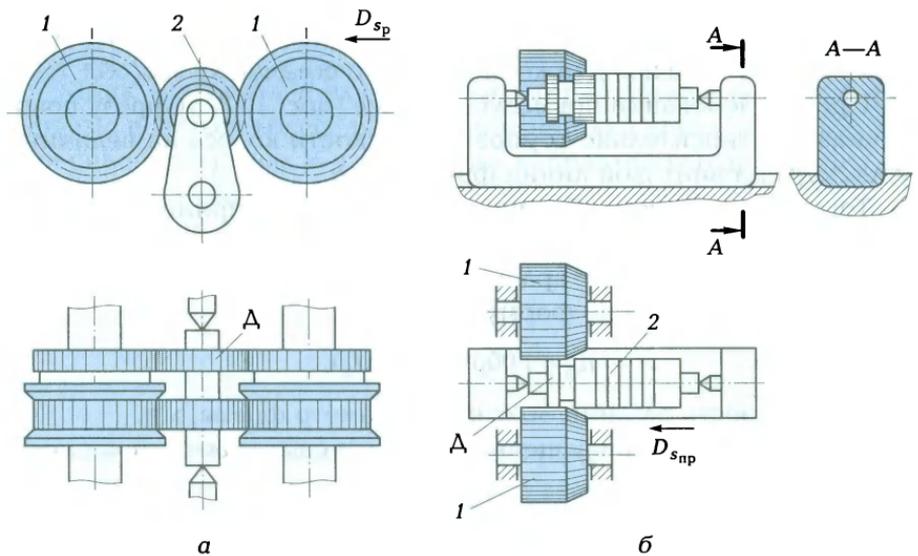


Рис. 10.2. Схемы накатывания цилиндрических колес с поперечной подачей валков (а) и продольной подачей заготовки (б):

1 — накатники; 2 — заготовка; Д — делительное колесо

( $z < 14$ ) по методу обката зубья должны снабжаться положительной высотной коррекцией. Сущность этого способа корригирования заключается в том, что при нарезании двух сопряженных колес инструмент получает одинаковое по величине смещение относительно оси заготовки. Для малого колеса это смещение положительно, т. е. направлено от оси заготовки, а для большого колеса — отрицательно, т. е. направлено к оси заготовки.

На схеме для зубофрезерования (см. рис. 10.1, а) вращательное движение червячной модульной фрезы  $D_r$  — это движение скорости резания (главное движение), а поступательное движение  $D_{s_b}$  — это движение вертикальной подачи фрезы. Вращательное движение заготовки колеса  $D_{s_{кр}}$  при помощи кинематической цепи согласовано с вращательным движением фрезы  $D_r$ . Эта схема резания обеспечивает нарезание всех зубьев колеса. Нарезание проводят или на универсальных, или на специальных зубофрезерных станках. Червячные фрезы применяют преимущественно однозаходные.

При установке фрезы относительно заготовки необходимо учитывать, какое цилиндрическое зубчатое колесо обрабатывают: прямозубое или косозубое.

Схема взаимного расположения фрезы и обрабатываемой заготовки при нарезании прямозубых и косозубых цилиндрических колес червячной фрезой по методу обката показана на рис. 10.3, на котором:  $D_r$  — вращение червячной фрезы с частотой  $n_\phi$ , об/мин;  $D_{s_{кр}}$  — вращение заготовки с частотой  $n_3$ , об/мин;  $D_{s_b}$  — поступательное вертикальное движение фрезы с подачей  $s_b$ , мм/об.

При фрезеровании прямозубых колес (рис. 10.3, а) фрезу поворачивают относительно торцовой плоскости колеса на величину угла подъема винтовой линии фрезы  $\omega = \alpha$ .

Тогда витки фрезы, обращенные к заготовке, принимают положение, параллельное оси заготовки, что обеспечивает нарезание прямых зубьев. Частоту вращения  $n_\phi$ , об/мин, фрезы (движение резания) определяют по формуле

$$n_\phi = 1\,000 \cdot 60v / (\pi d_\phi),$$

где  $v$  — скорость резания, м/с;  $d_\phi$  — диаметр фрезы, мм.

Вращение фрезы и вращение заготовки связывают отношением

$$n_3 / n_\phi = a / z,$$

где  $a$  — число заходов червячной фрезы;  $z$  — число зубьев, нарезаемых на заготовке.

Отсюда следует, что при каждом обороте червячной фрезы заготовка должна получить  $a/z$  оборотов.

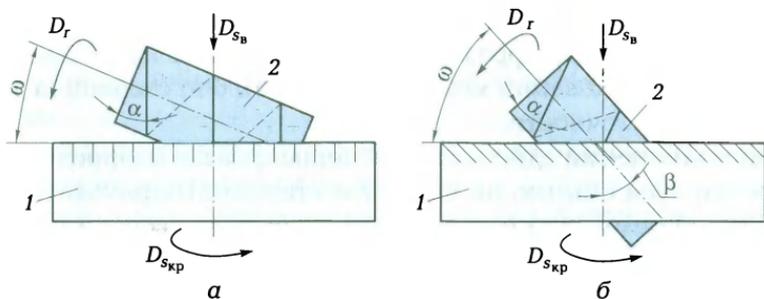


Рис. 10.3. Схемы нарезания червячной фрезой цилиндрических колес с прямыми (а) и косым (б) зубьями:

1 — заготовка; 2 — червячная фреза;  $\omega$  — угол наклона оси фрезы;  $\alpha$  — угол подъема витков фрезы;  $\beta$  — угол наклона зубьев детали

Вертикальное перемещение фрезы (движение подачи) должно быть таким, чтобы при каждом обороте заготовки фреза опускалась на принятую величину подачи  $s_B$ , мм/об.

При фрезеровании косозубых колес (рис. 10.3, б) ось фрезы поворачивается относительно торцевой плоскости колеса на угол

$$\omega = \beta \pm \alpha,$$

где  $\beta$  — угол наклона зубьев детали;  $\alpha$  — угол подъема витков фрезы.

Знак «+» берут в случае, если направления наклона витков фрезы и зубьев колеса разноименные (одна левая, вторая правая или наоборот), знак «-» — если оба направления одноименны (оба правые или оба левые).

Вращения фрезы и заготовки при нарезании косозубых колес связаны зависимостью

$$\frac{n_3}{n_\phi} = \frac{a}{z} \pm \Delta,$$

где  $\Delta$  — величина дополнительного числа оборотов заготовки.

Таким образом, каждому обороту фрезы должно соответствовать  $a/z \pm \Delta$  оборотов заготовки. Знак «+» или «-» означает нарезание правых или левых косых зубьев.

Вертикальное перемещение фрезы при нарезании косых зубьев связано с вращением заготовки той же зависимостью, что и при нарезании прямых зубьев.

Обычно при применении однозаходных шлифованных фрез и тщательной выверке фрезы и заготовки, а также при надлежащем состоянии оборудования можно обеспечить 6-ю степень (а иногда и 5-ю степень) точности.

При применении однозаходных нешлифованных фрез точность обработки зуба обычно не выше 7-й степени. Шероховатость поверхности фрезерованного зуба должна находиться в пределах от  $Rz\ 20$  до  $Ra\ 1,25$  мкм.

**Зубодолбление** долбяком применяют для обработки как прямозубых, так и косозубых колес внутреннего и внешнего зацепления. Зубодолбление дает возможность получать достаточно высокое качество поверхности, поэтому часто применяется в качестве окончательной операции. Подобно фрезерованию червячными фрезами одним долбяком можно обработать зубчатые колеса с данным модулем  $m$  и углом зацепления  $\alpha$  с различными числами зубьев, по методу обката.

Зубчатые колеса с малым числом зубьев требуют положительной коррекции профиля во избежание подрезания зуба. Однако минимальное число зубьев нормальных колес, которое можно долбить без подрезания ножки, меньше, чем аналогичное число зубьев при зубофрезеровании.

При нарезании зубьев долбяк и заготовка совершают пять движений (см. рис. 10.1, б и в):

1) возвратно-поступательное главное движение долбяка параллельно оси заготовки (движение резания) — рабочее  $D_{r_p}$  со скоростью  $v_p$ , м/с, и вспомогательное (холостое) движение  $D_{r_s}$  со скоростью  $v_s$ , м/с;

2) вращение долбяка  $D_{s_{кр}}$  с круговой подачей  $s_{кр}$ , мм/дв. ход;

3) вспомогательное возвратно-поступательное движение отвода долбяка (или заготовки колеса)  $D_{\Delta s}$  на длину  $\Delta$ , мм, при холостом ходе долбяка, обеспечивающее зазор между заготовкой и режущими кромками долбяка до 0,07 мм, чем избегают трения и износа режущих кромок, причем долбяк (или заготовку) отводят в самом начале холостого хода долбяка и подводят в начале рабочего хода;

4) вращение заготовки  $D_{s_{кр}}$  с частотой  $n_3$ , об/мин;

5) поступательное перемещение  $D_{s_p}$  долбяка в радиальном направлении с подачей  $s_p$ , мм/дв. ход.

Зуборезный долбяк обеспечивает непрерывное нарезание зубьев на колесе.

Вращение долбяка с частотой  $n_\Delta$  и вращение заготовки с частотой  $n_3$  связаны уравнением

$$n_3/n_A = z_A/z,$$

где  $z_A$  — число зубьев долбяка;  $z$  — число зубьев, нарезаемых на заготовке.

Отсюда следует, что при повороте долбяка на один зуб заготовка также должна повернуться на один зуб.

Скорость  $v$ , м/с, вертикального возвратно-поступательного движения долбяка (скорость резания) определяют по формуле

$$v = \frac{2Ln_A}{1000 \cdot 60},$$

где  $L$  — длина хода долбяка с учетом длин врезания и перебега, сумма которых равна 12 мм;  $n_A$  — число двойных ходов долбяка в минуту.

Круговую подачу  $s_{кр}$  измеряют длиной дуги поворота долбяка по делительной окружности за один его двойной ход (мм/дв. ход).

Зубчатые колеса малых модулей ( $m < 0,5$  мм) чаще всего обрабатывают за один рабочий ход. Для больших модулей применяют два, а иногда и три рабочих хода.

Качество поверхности зубчатого венца, обработанного долбяком, как правило, выше, чем обработанного червячной фрезой и обычно находится в пределах  $Ra$  1,25...0,63 мкм.

**Фрезерование дисковыми и пальцевыми модульными фрезами** уступает фрезерованию червячными фрезами как по точности, так и по производительности. Поэтому фрезерование дисковыми и пальцевыми модульными фрезами ограничивается изготовлением единичных зубчатых колес на фрезерных станках, снабженных делительными головками; нормальных (некорректированных) зубчатых колес с малым числом зубьев; зубчатых колес циклоидального профиля, когда вследствие недостаточного количества деталей изготовление соответствующей червячной фрезы было бы нецелесообразным.

Обработку зубьев ведут по методу копирования. Модульные дисковая (см. рис. 10.1, *г*) и пальцевая (см. рис. 10.1, *г*) фрезы только вращаются, заготовке сообщают продольную подачу  $D_{снр}$ . После прохода фрезой каждой канавки стол станка возвращают обратно, заготовку поворачивают на  $1/z$  и начинают повторный цикл работы для фрезерования следующей канавки и т. д.

Для каждого модуля  $m$  и угла зацепления  $\alpha$ , а также для каждого числа зубьев колеса  $z$  теоретически необходимо иметь специальную фрезу. Учитывая, однако, что при небольшом изменении числа

зубьев колеса профиль эвольвенты меняется незначительно, допускается применение комплекта фрез для каждого модуля и угла зацепления. Каждая фреза в комплекте предназначена для нарезания определенного диапазона чисел зубьев. Существуют комплекты, состоящие из 8, 15 и 26 фрез. Каждой фрезе в наборе присваивают свой номер и указывают интервал чисел зубьев, которые можно нарезать данной фрезой. Наибольшее распространение получили комплекты, состоящие из 8 и 15 фрез.

Дисковые зуборезные фрезы для косозубых колес выбирают по нормальному модулю. Номер фрезы из комплекта определяют по фиктивному числу зубьев

$$z' = \frac{z}{\cos \psi_A},$$

где  $z$  — число зубьев колеса;  $\psi_A$  — угол наклона зуба на делительном цилиндре.

Дисковые и пальцевые модульные фрезы профилируют по наименьшему числу зубьев обслуживаемого ими диапазона.

Точность фрезерования дисковыми модульными фрезами обычно находится в пределах 8–9-й степеней. Даже при применении точно спрофилированных фрез по данному числу зубьев точность не превосходит 8-ю степень. Шероховатость поверхности находится в пределах от  $Rz$  20 до  $Ra$  1,25 мкм.

**Накатывание зубчатых колес** можно осуществлять как в горячем, так и в холодном состоянии валками или рейками. Применяют накатывание валками, так как при накатывании рейками оборудование оказывается более сложным и, кроме того, для колес значительных диаметров необходимо иметь рейки очень большой длины.

Способ пригоден как для прямозубых, так и косозубых колес, причем одними и теми же валками могут быть накатаны зубчатые колеса с различным числом зубьев. Наиболее распространен способ накатывания двумя валками.

Процесс деформации осуществляют либо при помощи поперечной подачи валков (рис. 10.2, а), либо с помощью продольной подачи заготовки вдоль валков, заранее установленных на требуемое межцентровое расстояние (рис. 10.2, б). В последнем случае валки снабжают заборным конусом. Накатывание с продольной подачей следует считать более целесообразным как в отношении точности, так и производительности.

Для поперечного накатывания используют единичные заготовки, для продольного — либо прутки, которые впоследствии разрезают

на отдельные зубчатые колеса, либо единичные заготовки, набираемые на общую оправку.

Валки представляют собой корригированные зубчатые колеса с отношением высоты ножки к высоте головки, обратным этому отношению у накатываемого зубчатого колеса. Желательно иметь валки возможно большего диаметра. При этом увеличивается степень перекрытия и процесс накатывания протекает более плавно; условия деформации металла улучшаются. Материал валков — закаленная легированная сталь (обычно 5ХНМ).

Деление окружности заготовки, диаметр которой определяют по эмпирическим формулам, может быть либо принудительным, либо свободным.

При принудительном делении валки и заготовку связывают кинематически с помощью цепи обката. Для этой цели на оправку вместе с заготовкой устанавливают специальное делительное колесо (колесо Д на рис. 10.2), которое входит в зацепление с зубчатыми колесами, сидящими на одной оси с валками. При продольном накатывании делительное колесо сцепляют непосредственно с валками. После выхода делительного колеса из зацепления с валками его роль выполняет сама накатанная заготовка.

При свободном делении используют силы трения между валками и заготовкой. Чтобы процесс свободного деления обеспечивал требуемое число зубьев, необходимо выбрать диаметр заготовки таким, чтобы на длине ее окружности точно укладывалось желаемое число шагов, равных шагу валка на его наружном диаметре. Однако по мере углубления валков в заготовку скорость валков на их наружном диаметре оказывается больше скорости заготовки на впадинах. Вследствие этого зуб валка стремится сместить зуб заготовки в направлении ее вращения, что часто приводит к разрушению зубьев заготовки у их основания, поэтому принудительное деление обеспечивает лучшее качество зубьев.

Для обеспечения правильности профиля по обеим сторонам зуба рекомендуют реверсирование валков (не менее 3–4 раз за цикл обработки).

В холодном состоянии накатывают преимущественно зубчатые колеса малых модулей из цветных металлов.

Стальные заготовки следует предварительно нагревать. Точность накатанных с принудительным делением зубчатых колес в значительной степени зависит от точности валков и колеблется в пределах 7–8-й степеней.

Шероховатость поверхности, как правило,  $Ra$  1,25...0,63 мкм.

### 10.1.3. Способы чистовой обработки зубчатого венца у цилиндрических зубчатых колес

**Зубошлифование** применяют в основном для стальных термически обработанных зубчатых колес, однако не исключена возможность шлифования и сырых колес.

Рассмотрим различные способы зубошлифования.

**Шлифование профильным кругом** (рис. 10.4, а). В качестве режущего инструмента применяют фасонный дисковый круг, профиль которого соответствует профилю впадины зубчатого колеса. Шлифование каждой впадины совершают за несколько проходов, затем следует поворот заготовки на один зуб.

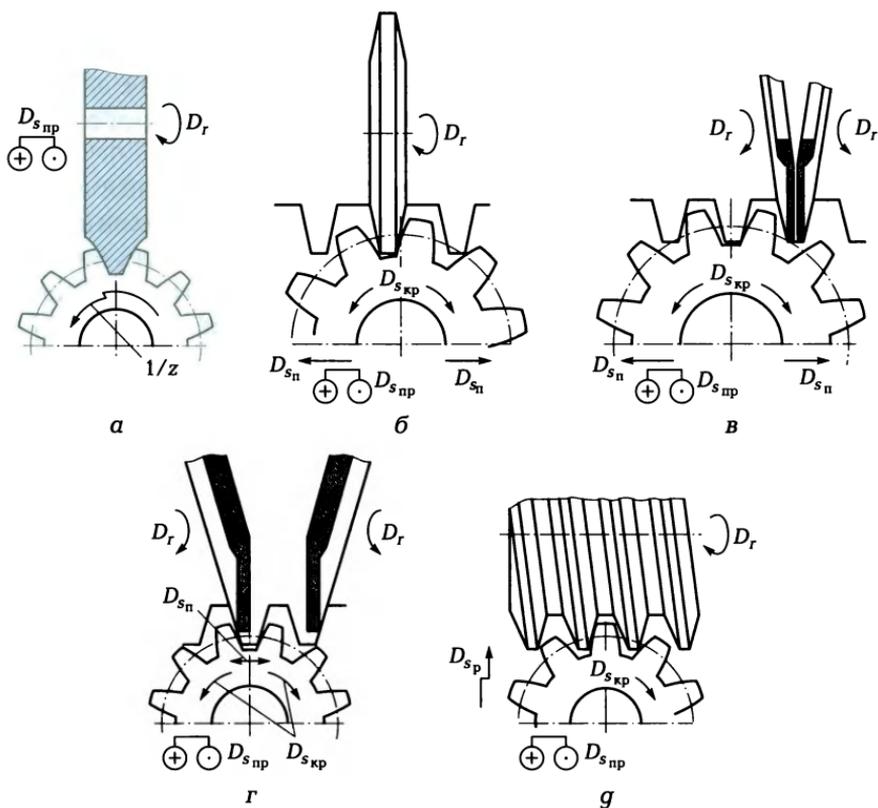


Рис. 10.4. Схемы зубошлифования:

а — фасонным дисковым кругом методом копирования; б, в, г — фасонными дисковыми кругами методом обката; г — абразивным червяком методом обката

При качественной правке кругов и при точных делительных механизмах, осуществляющих поворот заготовки на один зуб, метод обеспечивает 5-ю степень точности; шероховатость поверхностей соответствует  $Ra\ 0,63 \dots 0,16$  мкм.

*Шлифование дисковыми кругами* (по методу обката). Во всех применяемых способах, схемы которых приведены на рис. 10.4, б – г, шлифующие поверхности кругов образуют воображаемую рейку, по которой происходит обкат заготовки. Заготовка, помимо движения обката, имеет возвратно-поступательное движение подачи для того, чтобы шлифование могло осуществляться на всей ширине зубчатого венца. После шлифования двух профилей (правого и левого) следует поворот заготовки на один зуб. Описанный способ применяется в основном для модулей  $m > 1$  мм и обладает низкой производительностью.

*Достоинство* этих способов состоит в легкости правки кругов. Правку проводят либо по торцам круга, либо по конической поверхности. Правка легко может быть автоматизирована.

Точность, получаемая при применении описанных способов, — 5-я степень, качество поверхности  $Ra\ 1,25 \dots 0,32$  мкм.

*Шлифование абразивным червяком* (по методу обката). По характеру способ (рис. 10.4, г) сходен с зубофрезерованием червячными фрезами. В качестве инструмента применяют шлифовальный круг, на цилиндрической поверхности которого путем накатывания наносят однозаходную винтовую нитку. Вследствие незначительности угла подъема нитки абразивный червяк не поворачивают на угол подъема нитки, а устанавливают перпендикулярно оси шлифуемого прямозубого цилиндрического колеса. Между абразивным червяком и колесом, установленным в центрах на оправке, есть необходимая для червячной передачи кинематическая связь. Заготовка в процессе резания имеет вертикальную подачу вдоль своей оси. После каждого двойного хода заготовки последнюю можно автоматически подавать в радиальном направлении (на шлифовальный круг), после чего процесс шлифования повторяется. При шлифовании косозубых колес заготовку поворачивают на угол наклона зуба, а подача остается вертикальной.

Этим способом можно шлифовать зубчатый венец как по целому металлу заготовки (для  $m < 0,5$  мм), так и заготовки с предварительно выполненным зубчатым венцом. Шероховатость поверхности после шлифования  $Ra\ 1,25 \dots 0,16$  мкм, точность — 5-й степени.

*Притирку зубчатых колес* в качестве способа окончательной обработки зубчатого венца применяют преимущественно для термически обработанных стальных зубчатых колес. Однако он при-

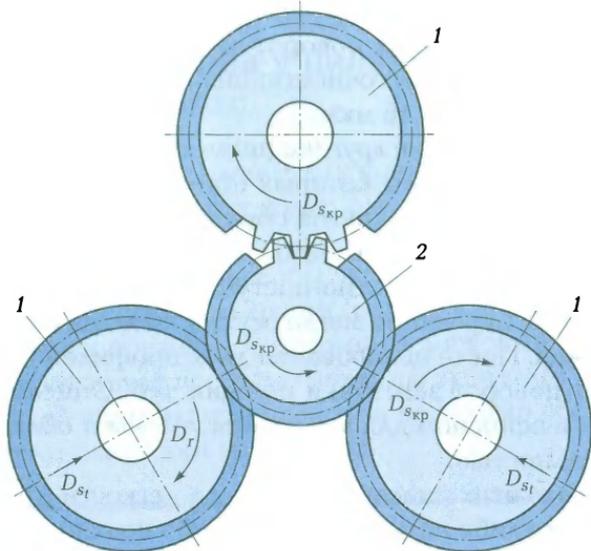


Рис. 10.5. Схема притирки зубчатого колеса тремя притирами-колесами с параллельными осями:

1 — притиры; 2 — заготовка

годен и для нетермообработанных колес из различных металлов. В промышленности притирка распространена значительно шире, чем зубошлифование из-за относительной простоты процесса и в связи с более высокой производительностью.

Процесс притирки производителен и экономичен лишь при небольших припусках под притирку (как правило, регламентированные припуски не оставляют).

В качестве притиров применяют зубчатые колеса того же модуля, но с уменьшенной толщиной зубьев. Притиры изготавливают из более мягкого материала, чем обрабатываемое колесо, и шаржируют абразивами (для стальных колес чаще всего применяют серый перлитный чугун).

Процесс притирки осуществляют путем взаимного обкатывания заготовки 2 и притиров 1 (одного или нескольких) без принудительной цепи обката (рис. 10.5). Притиры постепенно сближают ( $D_{st}$ ); притираемая заготовка 2 нагружается тормозным моментом и получает вращение от притиров. В процессе обработки проводят периодическое реверсирование притиров.

Точность притирки находится в пределах 5–6-й степеней. Качество поверхности после притирки, как правило, очень высокое ( $Ra$  0,63...0,04 мкм) и в значительной мере зависит от типа и зер-

ности применяемого абразива. Для притирки применяют пасты ГОИ, электрокорундовые пасты и другие зернистостью 80...50 мкм. При применении более мелких паст (28...14 мкм и выше) процесс притирки превращается в процесс зубополирования, который часто применяют для окончательной отделки колес (после притирки).

Помимо притиров-колес используют червячные притиры (притиры в виде однозаходных червяков), изготовленные из мягких металлов или из твердых сортов дерева (пальма, дуб, бук).

**Шевингование** обеспечивает достаточно высокую и притом стабильную степень точности зубчатого венца и хорошее качество поверхности. Этот процесс высокопроизводителен и экономичен (во много раз дешевле шлифования) и весьма прост в обслуживании.

Сущность процесса шевингования состоит в снятии с поверхности зубьев колеса весьма тонких волосообразных стружек режущим инструментом — шевером, находящимся в плотном зацеплении с обрабатываемым колесом.

Различают шевингование шевером-рейкой, дисковым шевером (рис. 10.6, а), представляющим собой косозубое колесо того же модуля с зубьями, перерезанными кольцевыми или винтовыми канавками, образующими режущие кромки (рис. 10.6, б). Применяют также шевингование червячным шевером.

Для косозубых колес применяют косозубые шеверы с углом наклона зуба, отличным от угла наклона зуба шевингуемого колеса. В отдельных случаях для косозубых колес можно применять прямозубые шеверы.

Снятие стружки происходит благодаря наличию осевого скольжения в зацеплении, которое достигается скрещиванием осей шевера 1 (см. рис. 10.6, а) и заготовки 2 (обрабатываемое зубчатое колесо) и осевым возвратно-поступательным перемещением заготовки 2 относительно шевера  $D_{снп}$ . Шеверу сообщают возвратно-вращательное движение  $D_r$ . При изменении направления перемещения заготовки вращение шевера реверсируют (для равномерности обработки правых и левых профилей). Заготовки свободно устанавливают в центрах станка, на оправках, и приводят во вращение  $D_{снп}$  шевером.

После каждого двойного хода заготовки инструментальную головку с шевером подают в радиальном направлении  $D_{sr}$ . Скоростью резания в этом случае является составляющая  $v$ , а главным движением — вращательное движение шевера  $v_{ш}$ , так как  $v_{ш} > v$ . Полный цикл обработки включает в себя несколько рабочих ходов заготовки (которым предшествует радиальная подача шевера) и несколько зачистных ходов (без подачи шевера на глубину).

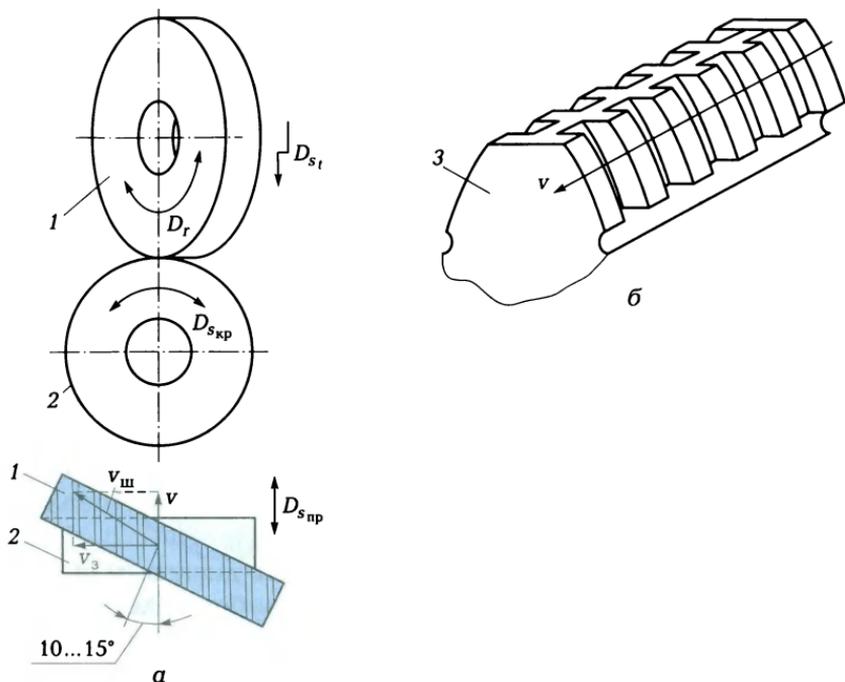


Рис. 10.6. Шевингование зубчатых колес дисковым шевером:

*a* — схема шевингования; *б* — зуб шевера: 1 — шевер; 2 — заготовка; 3 — зуб шевера;  $v$ ,  $v_3$  — осевая и окружная скорости заготовки;  $v_{ш}$  — окружная скорость шевера

Точность шевингования — обычно 5-я степень (если у заготовок 8—9-я степень). Шероховатость поверхности после шевингования  $Ra$  0,25...0,32 мкм.

В настоящее время шевингованию подвергают зубчатые колеса с модулем не менее 0,3 мм. Меньшие модули не шевингуют из-за сложности изготовления шеверов.

**Обкатывание зубчатых колес** заключается в воспроизведении плотного зацепления обрабатываемого колеса с закаленными эталонными колесами. В процессе обкатывания вследствие смятия поверхностных гребешков обеспечивается достаточно высокое качество поверхности и высокая поверхностная твердость зубьев. Производительность процесса очень высока (обкатывание одного колеса занимает несколько секунд). Процесс весьма прост и легко может быть автоматизирован.

Обкатыванию можно подвергать колеса из различных металлов, но твердостью до 30...32 HRC.

В качестве эталонных колес применяют колеса того же модуля из инструментальных легированных сталей 9ХС, ХВГ и др. с высокой твердостью после термообработки. Соотношение высоты ножки и головки зуба у эталонного колеса несколько отличается от этого соотношения у обрабатываемого колеса. Толщина зуба эталона больше толщины зуба колеса на величину регламентированного бокового зазора в зацеплении. Схема обкатывания тремя эталонами аналогична изображенной на рис. 10.5.

Применяют обкатывание одним эталонным колесом.

**Приработка зубчатых колес** заключается во взаимном обкатывании двух колес, которые впоследствии будут работать в паре. Приработка может проводиться либо непосредственно в сборочной единице в процессе монтажа, либо на специальных установках.

Для ускорения процесса приработки между зубьями вводят притирочное вещество — абразив, однако приработку часто проводят и без абразива. После приработки с абразивом колеса должны быть тщательно промыты.

#### 10.1.4. Способы получения зубчатого венца у червячных и конических зубчатых колес

**Зубонарезание у червячных колес.** Зубчатый венец червячных колес чаще всего нарезают на зубофрезерных станках червячными фрезами, причем размеры фрез должны соответствовать размерам червяка, с которым будет зацепляться данное червячное колесо. Разница заключается лишь в том, что наружный диаметр червячной фрезы на  $0,5m$  ( $m$  — модуль колеса) больше наружного диаметра червяка. Это обеспечивает фрезерование впадины на полную глубину.

Ось фрезы устанавливают перпендикулярно оси колеса. Фрезерование можно осуществлять либо с поперечной подачей заготовки 2 на фрезу 1 (рис. 10.7, а), либо с продольной подачей фрезы вдоль оси фрезы. В последнем случае фрезу снабжают заборным конусом и между заготовкой 2 и фрезой 3 сразу устанавливают требуемое расстояние между осями (рис. 10.7, б).

**Фрезерование с поперечной подачей заготовки** обеспечивает большую производительность (вследствие малой величины перемещения заготовки). Однако фрезерование с продольной подачей фрезы обеспечивает большую точность, так как в этом случае

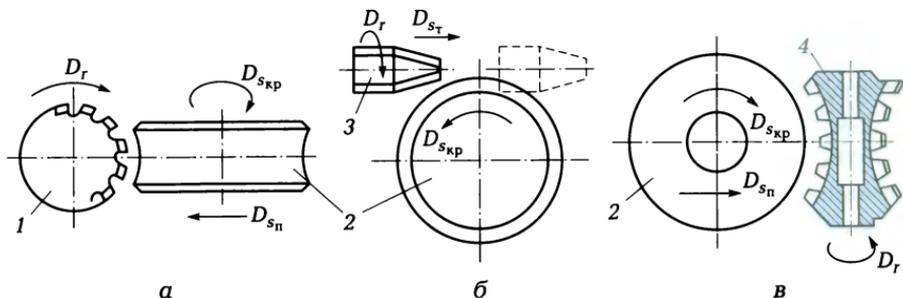


Рис. 10.7. Нарезание червячных колес:

*а* — с поперечной подачей заготовки; *б* — с продольной подачей фрезы; *в* — глобоидной червячной фрезой: 1, 3 и 4 — фрезы; 2 — заготовка

чистовые зубья фрезы, не участвуя в черновом резании, дольше сохраняют качество своих режущих кромок.

Только **фрезерованием с продольной подачей** можно правильно обработать червячные колеса с большими углами наклона зуба.

Зубонарезание у червячных колес для глобоидных передач осуществляется глобоидной червячной фрезой 4 (рис. 10.7, в). Глобоидальная передача (глобоидная передача) — разновидность червячной передачи, в которой начальная поверхность червяка образована вращением дуги начальной окружности колеса относительно оси червяка.

На всех трех схемах стрелками показаны движения, встречающиеся при нарезании зубьев:  $D_r$  — вращательное движение фрезы (движение резания);  $D_{сн}$  и  $D_{ст}$  — движения подачи (поперечное заготовки и тангенциальное фрезы) и  $D_{скр}$  — вращательное движение заготовки, кинематически согласованное с вращательным движением фрезы  $D_r$ .

Чистовую обработку червячных колес осуществляют чаще всего притиркой или прикаткой с эталонным червяком или шевингованием червячным шевером. Применяют также приработку червячного колеса и червяка непосредственно в механизме.

**Зубонарезание у конических прямозубых колес. Метод копирования** широко применяют при черновом (предварительном) нарезании, а также при изготовлении неотчетливых колес с неширокими венцами. В этих случаях можно использовать обычные универсально-фрезерные станки и дисковые модульные фрезы (рис. 10.8). Заготовку устанавливают на шпинделе делительной головки, причем шпиндель поворачивают на угол  $\alpha$ , равный половине угла конуса по впадинам (рис. 10.8, а). После прорезки одной впадины

(с продольной подачей стола) заготовку поворачивают на один зуб. Фрезы подбирают по наибольшему модулю.

Если венец колеса достаточно широкий, то описанный способ не может быть применен вследствие больших погрешностей формы зуба. В этом случае при отсутствии специального оборудования может быть применен способ фрезерования каждой впадины за два рабочих хода (рис. 10.8, б). Делительную головку (на рис. не показана) устанавливают на поворотный стол и первоначально поворачивают на некоторый угол  $\beta$  против часовой стрелки. После прорезки всех впадин делительную головку поворачивают на такой же угол в противоположную сторону и вторично фрезеруют все впадины. Фрезы подбирают по наименьшему модулю. При этом форма зуба оказывается более или менее правильной, однако значительные погрешности профиля делают этот способ пригодным лишь для неответственных колес.

**Метод обката** более широко распространен в машиностроении.

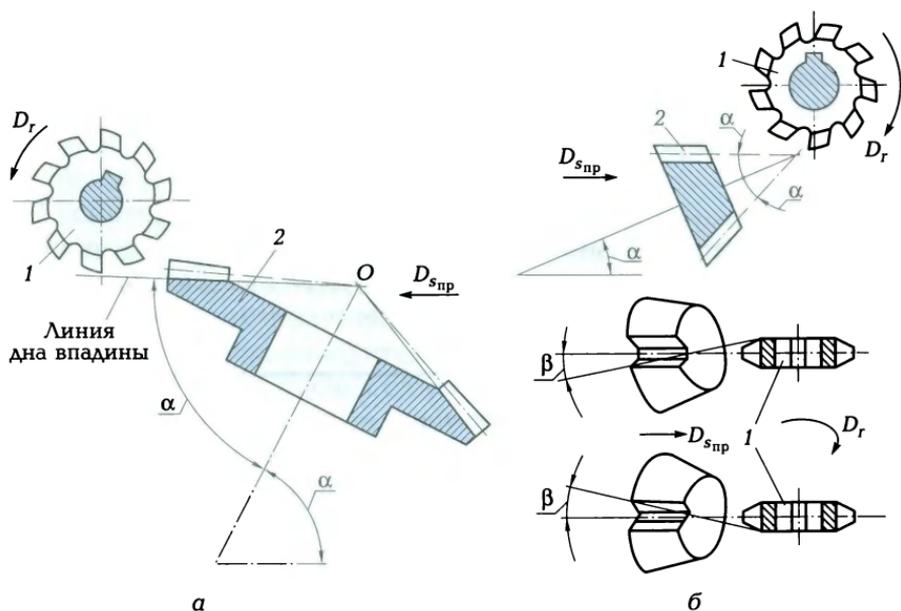


Рис. 10.8. Схемы нарезания зуба конического колеса дисковой модульной фрезой методом копирования:

а — за один рабочий ход; б — за два рабочих хода: 1 — дисковая фреза; 2 — заготовка;  $\alpha$  — половина угла конуса впадин;  $\beta$  — половина угла поворота стола между двумя рабочими ходами

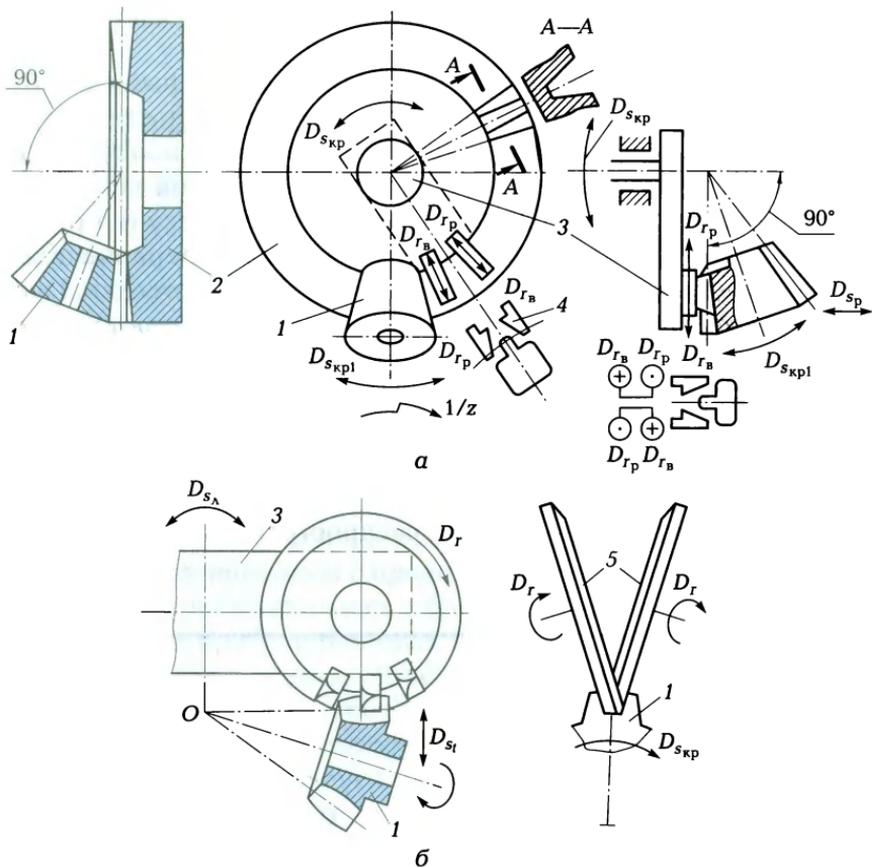


Рис. 10.9. Нарезание конических прямозубых колес методом обката:

*a* — двумя зубострогальными резцами; *б* — двумя дисковыми сборными фрезами; 1 — нарезаемое колесо (заготовка); 2 — производящее зубчатое колесо; 3 — льюлка; 4 — зубострогальный резец; 5 — фреза

Нарезание зубьев проводят чаще всего на зубострогальных станках двумя резцами, профиль которых соответствует исходному контуру плоского колеса. В процессе резания воспроизводится зацепление нарезаемого колеса (заготовки) 1 с воображаемым производящим зубчатым (рис. 10.9, *a*) колесом 2 (кольцевой рейкой). После каждого цикла обката происходит поворот заготовки на один зуб.

На рис. 10.9, *a* приведена принципиальная схема нарезания конического прямозубого колеса двумя зубострогальными резцами 4. На схеме стрелками отмечены движения, участвующие в процессе нарезания. Возвратно-поступательное движение резцов (рабочее  $D_{rp}$  и вспомогательное  $D_{rv}$ ) в процессе нарезания является движением

скорости резания; возвратно-вращательное движение механизма обкатки (люльки 3)  $D_{s_{кр'}}$ , согласованное с возвратно-вращательным движением заготовки колеса  $D_{s_{кр1}}$  — движением обкатки; возвратно-вращательное движение заготовки 1 служит для установки на глубину впадины и отвода бабки и, наконец, прерывистое вращательное движение заготовки на  $1/z$  ( $z$  — число нарезанных зубьев) — делительным движением, и осуществляется тогда, когда заготовка и резцы отведены друг от друга.

На рис. 10.9, б дана схема нарезания конического прямозубого колеса по методу обката двумя дисковыми сборными фрезами 5. Этот способ повышает производительность в 3–5 раз по сравнению с зубостроганием за счет применения вращающегося многорезцового инструмента вместо двух зубострогальных резцов, совершающих возвратно-поступательное движение, и позволяет нарезать колеса без предварительного прорезания впадин.

Вращательное движение дисковых фрез  $D_r$ , указанное на схеме, является движением скорости резания; возвратно-вращательное движение люльки  $D_{s_{кр'}}$ , согласованное с вращательным движением заготовки  $D_{s_{кр1}}$  — движением обката; возвратно-поступательное движение  $D_{s_i}$  — движением подачи на глубину впадины. Когда люлька закончит обкат, заготовку автоматически отводят от фрез, и люлька начинает вращаться в обратную сторону. Нарезаемая заготовка продолжает вращаться в ту же сторону, в какую вращалась и при рабочем ходе люльки. За период обратного вращения люльки заготовка успеет повернуться на один зуб.

Существует еще один способ зубонарезания у конических колес на зубофрезерных станках, предназначенных для зубонарезания у цилиндрических колес червячными фрезами. Этот способ не обеспечивает высокой точности по профилю, однако обладает весьма высокой производительностью, намного превосходящей производительность прочих способов зубонарезания у конических зубчатых колес. Поэтому он весьма целесообразен для зубонарезания у неотчетственных колес с неширокими венцами (ширина венца  $b \leq 5m$ ).

В качестве инструмента применяют специальную дисковую фрезу, зубья которой расположены по винтовым виткам многозаходного червяка (рис. 10.10, а). Число зубьев равно числу заходов червяка и обычно принимается равным четырем.

Заготовку устанавливают в специальном приспособлении, укрепленном на столе станка, и связывают с движением стола. Между заготовкой и инструментом устанавливается кинематическая связь, соответствующая зацеплению колеса с  $z$ -заходным червяком ( $z$  —

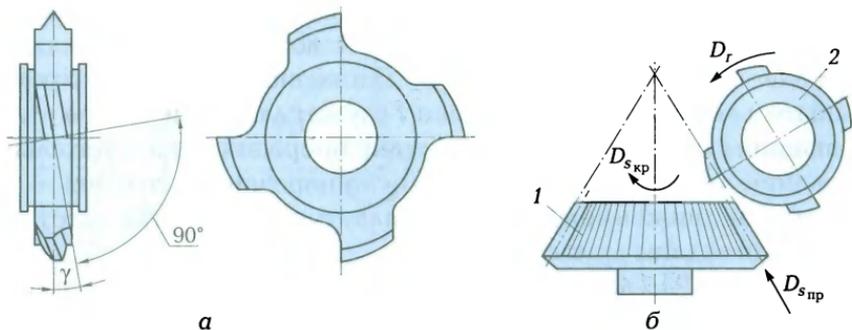


Рис. 10.10. Нарезание конических зубчатых колес специальной дисковой фрезой с винтовыми зубьями:

*а* — специальная дисковая фреза с винтовыми зубьями; *б* — схема нарезания конических зубчатых колес фрезой с винтовыми зубьями: 1 — заготовка; 2 — фреза;  $\gamma$  — передний угол

число зубьев фрезы). Каждый следующий зуб начинает обработку следующей впадины; таким образом, деление происходит непрерывно. Фреза имеет продольную подачу  $D_{s_{пр}}$  вдоль образующей конуса впадин (схема обработки изображена на рис. 10.10, б).

### 10.1.5. Зуборезные инструменты

**Червячная модульная фреза** (рис. 10.11, а) представляет собой винт с прорезанными перпендикулярно к виткам канавками. В результате этого на червяке образуются режущие зубья, расположенные по винтовой линии. Профиль зуба фрезы в нормальном сечении имеет трапецеидальную форму и представляет собой зуб рейки с передним  $\gamma$  и задним  $\alpha$  углами заточки. Червячные фрезы изготавливают однозаходными и многозаходными. Чем больше число заходов, тем выше производительность фрезы, но ниже точность. Червячными модульными фрезами нарезают цилиндрические колеса с прямыми и косыми зубьями и червячные колеса.

**Зуборезный долбяк** (рис. 10.11, б) представляет собой зубчатое колесо, зубья которого имеют эвольвентный профиль с передним  $\gamma$  и задним  $\alpha$  углами заточки. Различают два типа долбяков для нарезания цилиндрических колес: прямозубые (с прямыми зубьями) и косозубые (с косыми зубьями).

**Зубострогальный резец** (рис. 10.11, в) имеет призматическую форму с соответствующими углами заточки и прямолинейной режущей кромкой. Передний  $\gamma$  и задний  $\alpha$  углы образуются при

установке резца в резцедержателе станка. Такие резцы применяют попарно для нарезания конических зубчатых колес с прямыми зубьями.

**Дисковые модульные фрезы** (рис. 10.11, г) представляют собой фасонные дисковые фрезы, профиль которых соответствует профилю впадины между зубьями цилиндрического зубчатого колеса. Форма и размеры дисковых модульных фрез стандартизированы. Такие фрезы имеют *затылованные зубья*, т. е. линия пересечения плоскости, перпендикулярной к оси фрезы, с задней поверхностью зуба является спиралью Архимеда, что позволяет при переточке зуба по его передней поверхности сохранять профиль зуба.

Дисковые модульные фрезы бывают черновые и чистовые. Черновые фрезы применяют для предварительного прорезания впадин между зубьями колес, а чистовые — для окончательного нарезания зубьев.

Дисковые модульные фрезы имеют ограниченное применение в машиностроении. Их используют главным образом при ремонтных работах, а также при мелкосерийном изготовлении зубчатых

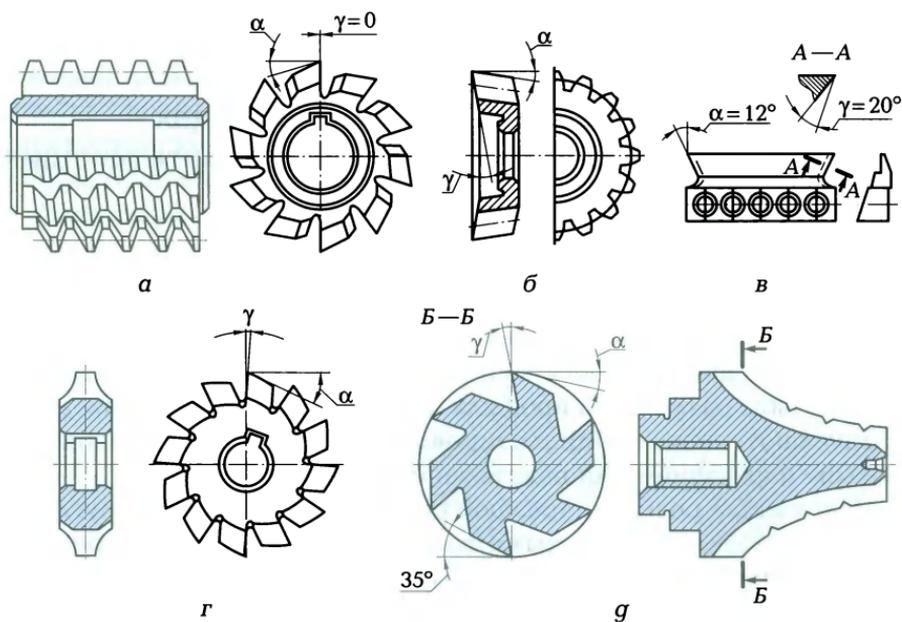


Рис. 10.11. Инструменты для нарезания зубчатых колес методами обката (а, б, в) и копирования (г, д):

а — червячная модульная фреза; б — зуборезный долбяк; в — зубострогальный резец; г, д — дисковая и пальцевая модульные фрезы

колес в тяжелом машиностроении. Этими фрезами нарезают сравнительно неточные цилиндрические зубчатые колеса (9–10-й степени точности) с прямыми и косыми зубьями, а также конические колеса с прямыми зубьями.

Для скоростной черновой обработки зубьев средних и крупных модулей используют твердосплавные дисковые фрезы сборной конструкции.

**Пальцевые модульные фрезы** применяют в тяжелом машиностроении для фрезерования прямозубых и косозубых шевронных и многошевронных зубчатых колес крупных модулей ( $m = 10$  мм и более). Пальцевые модульные фрезы бывают черновые и чистовые. Фрезы эти не стандартизированы. Они состоят из двух частей — режущей и хвостовой (крепежной). Обычно хвостовая часть для закрепления имеет резьбовое отверстие, что позволяет сократить длину вылета фрезы.

На рис. 10.11, *г* показана пальцевая цельная фреза. Применяют пальцевые фрезы с приваренными клиновидными зубьями и оснащенные пластинками твердого сплава.

## 10.2. РЕЗЬБОУБРАБОТКА

### 10.2.1. Общие сведения о методах резьбобработки и резьбобрабатывающих станках

Резьбу изготавливают методами резания и пластического деформирования (накатыванием и раскатыванием) на станках многих групп и типов, применяя разнообразные инструменты. Это позволяет получить цилиндрическую и коническую внутреннюю и наружную резьбы различного профиля, однозаходные и многозаходные. Выпускают также специализированные станки для образования резьбы нарезанием или накатыванием (раскатыванием).

Наружные резьбы нарезают резцами, гребенками, круглыми плашками, резбонарезными головками, групповыми фрезами, резцовыми головками («вихревым методом»), шлифовальными кругами. Внутренние резьбы нарезают резцами, гребенками, метчиками, резбонарезными головками, фрезами.

Нарезание резьб осуществляют на токарных, револьверных, сверлильных (внутренних — метчиками, наружных — круглыми плашками, резбонарезными головками с круглыми гребенками),

болторезных (наружных) или гайконарезных (внутренних резьб), фрезерных, резьбофрезерных, резьбошлифовальных станках и токарных автоматах.

Рассмотрим обработку резьб на резьбообрабатывающих станках. Резьбообрабатывающие станки, как и зубообрабатывающие, относят к 5-й классификационной группе станков (резьбофрезерные — к 5-му, резьбошлифовальные — к 8-му типам этой группы). Резьбообрабатывающие станки (с вертикальной и горизонтальной компоновкой шпинделя) имеют один-два или более шпинделя, работают как полуавтоматы и автоматы.

### 10.2.2. Резьбонарезание на резьбофрезерных станках

Движение резания  $D_r$  (вращательное) в этом случае совершает фреза. Для достаточно крупных резьб применяют фрезерование дисковыми фрезами (рис. 10.12, а) на специальных резьбофрезерных станках, а при отсутствии специального оборудования — на универсально-фрезерных станках. Стол, на котором устанавливают заготовку (в центрах или на оправке, укрепленной в делительной головке), развертывают на угол, равный среднему углу подъема резьбы. Между заготовкой 1 и ходовым винтом стола устанавливают кинематическую связь, обеспечивающую подачу стола (с заготовкой) на один шаг за один оборот заготовки.

Следует отметить, что резьбофрезерованием нельзя получить правильной архимедовой винтовой поверхности, так как эта по-

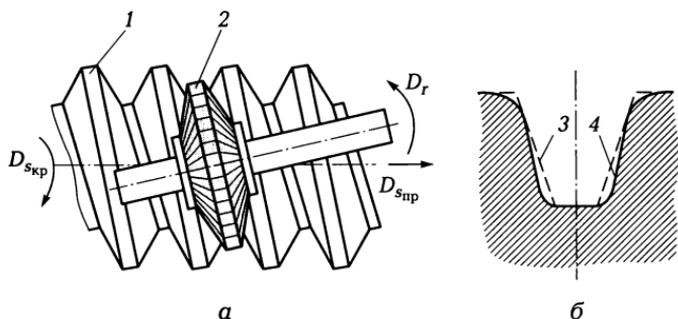


Рис. 10.12. Резьбофрезерование дисковой фрезой:

а — схема фрезерования; б — профиль резьбы: 1 — заготовка; 2 — фреза; 3 и 4 — соответственно теоретический и получаемый профили

верхность не имеет общей касательной плоскости с коническими поверхностями фрезы. Вследствие этого возникает некоторое искажение профиля резьбы (на рис. 10.12, б пунктир — неискаженный профиль). Это особенно ощутимо на прямоугольных резьбах.

Производительность резбофрезерования выше, чем при нарезании резцом, однако она уступает другим способам нарезания резьбы. Чистота поверхности резьбы вследствие прерывистости процесса резания ниже, чем при токарной обработке резьбы. С уменьшением подачи и увеличением числа зубьев фрезы качество поверхности улучшается.

Для нарезания мелких крепежных резьб большого диаметра широко применяют фрезерование групповыми (гребенчатыми) фрезами 2 (рис. 10.13, а) на специальных резбофрезерных станках. Ось фрезы 2 устанавливают параллельно оси заготовки 1, и фрезерование всех ниток осуществляют одновременно.

За один оборот заготовки фреза подается вдоль оси на один шаг. Для полного резбообразования с учетом врезания необходимо несколько больше одного оборота заготовки (порядка 1,25), в связи с чем длину гребенчатой фрезы берут обычно на 2—3 нитки больше по сравнению с длиной нарезаемой резьбы.

Этот способ значительно производительнее фрезерования дисковой фрезой. Его можно применять как для наружной, так и для внутренней резьбы. Однако в отношении точности он уступает способу фрезерования дисковой фрезой. Так как направление кольцевых ниток фрезы не совпадает с направлением винтовой нитки

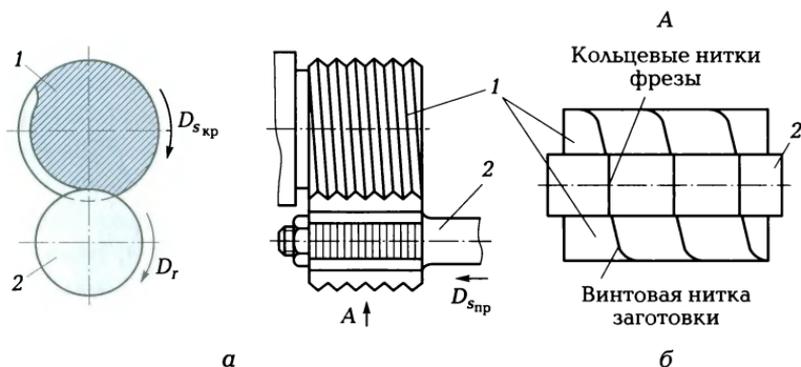


Рис. 10.13. Резбофрезерование групповой (гребенчатой) фрезой: а — движения фрезы и заготовки; б — взаимное расположение ниток фрезы и заготовки: 1 — заготовка; 2 — фреза

резьбы детали (рис. 10.13, б), возникает значительная погрешность профиля. Погрешность тем меньше, чем меньше угол подъема резьбы, поэтому этот способ целесообразно применять только для резьб малого шага и большого диаметра.

Групповыми (гребенчатыми) фрезами с кольцевыми канавками нарезают и внутренние резьбы. Движение подачи (как вдоль оси, так и на врезание) в этом случае совершает заготовка.

### **10.2.3. Резьбонарезание на болторезных и гайкорезных станках**

Болторезные станки предназначены для нарезания наружных резьб в болтах и других деталях. При нарезании резьбы, например, на одношпиндельном болторезном станке заготовку закрепляют в тисках, установленных на суппорте. Движение подачи суппорт получает от ходового винта, вращающегося от шпинделя через гитару деления, таким образом, что за один оборот шпинделя суппорт перемещается на шаг резьбы. При этом суппорт перемещает заготовку к закрепленной на шпинделе резьбонарезной самораскрывающейся головке с тангенциальными гребенками (см. рис. 7.14, в), расположенными по касательной к нарезаемой поверхности. После нарезания резьбы резьбонарезная головка автоматически раскрывается, суппорт совершает холостой ход, головка закрывается, и цикл повторяется. Открывать и закрывать резьбонарезную головку на станке можно и вручную (см. рис. 7.14).

На гайкорезных автоматах и полуавтоматах осуществляют нарезание резьбы в гайках при крупносерийном и массовом производстве метчиками с прямыми (рис. 10.14, а) или изогнутыми хвостовиками (рис. 10.14, б, в).

При резьбонарезании вращающимся метчиком с длинным прямым хвостовиком (см. рис. 10.14, а) гайки по мере нарезания надеваются на хвостовик 2. После того как хвостовик полностью заполняется гайками, метчик вынимается из цангового патрона 1 и гайки 3 удаляют с хвостовика 2. Эти метчики изготавливают для резьб диаметром до 52 мм.

При резьбонарезании вращающимся метчиком с изогнутым хвостовиком (см. рис. 10.14, б) метчик вместе со специальной головкой получает вращение от шпинделя 7. Нарезаемые заготовки 4 из бункера подают к направляющим 6, устанавливая на них и прижимают толкателем к вращающемуся метчику (бункер и толкатель

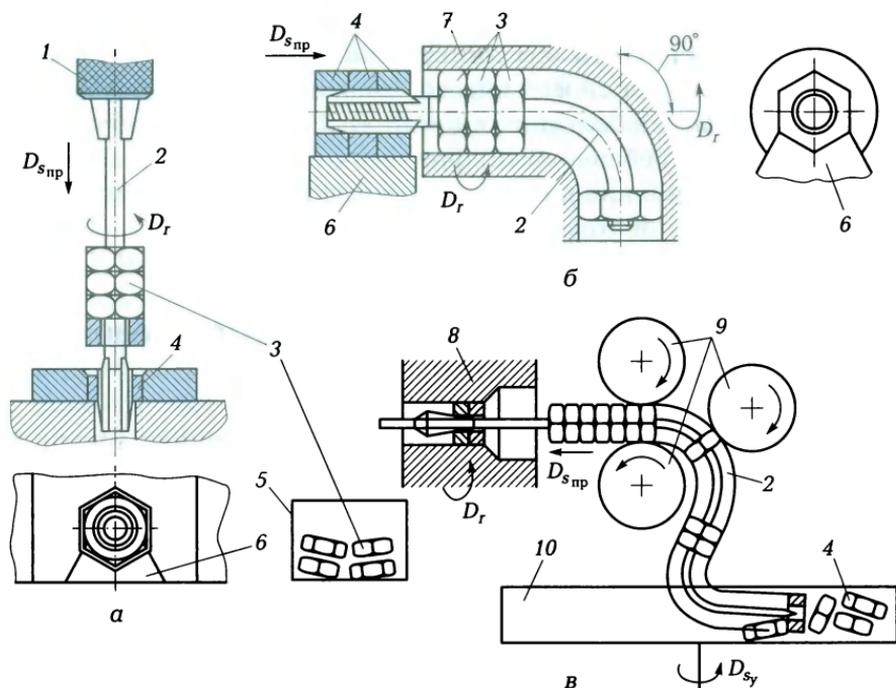


Рис. 10.14. Способы нарезания резьбы в гайках метчиками:

*а* — с длинным прямым хвостовиком; *б* — с изогнутым хвостовиком в невращающихся заготовках; *в* — с изогнутым хвостовиком во вращающихся заготовках: 1 — цанговый патрон; 2 — хвостовик метчика; 3 — готовые гайки; 4 — заготовки; 5 — тара; 6 — приспособление (направляющие); 7 — шпиндель; 8 — патрон; 9 — подающие ролики; 10 — вращающийся бункер

на рисунке не показаны). Гайки перемещаются по метчику и по изогнутому хвостовику и сбрасываются в зону готовых изделий.

При резьбонарезании во вращающихся заготовках метчиком (его режущая часть показана условно) с изогнутым хвостовиком (см. рис. 10.14, *в*) заготовки, находящиеся во вращающемся бункере, постепенно нанизываются на хвостовик 2 метчика, который расположен по касательной к направлению перемещения заготовок. Под давлением следующих гаек и в результате вращения подающих роликов 9 заготовки передвигаются к рабочей части метчика. Вращающийся патрон 8 сообщает им вращательное движение, благодаря чему они перемещаются по метчику, и после резьбонарезания готовые гайки сбрасываются в тару.

Гаечные метчики изготавливают со шлифованным профилем.

При резьбонарезании во всех случаях продольная подача заготовки (или инструмента) равна шагу резьбы  $P$ .

## 10.2.4. Резьбообработка на резбонакатных станках

Накатывание резьбы — один из наиболее производительных и экономичных способов изготовления резьбы в условиях массового и серийного производства.

Накатывать можно как наружные, так и внутренние (раскатывание) резьбы, одно- и многозаходные, цилиндрические и конические. *Преимущества* накатывания резьбы по сравнению с резбонарезанием: меньшая стоимость, меньший расход инструмента, экономия материала, более высокая производительность и более высокая прочность резьбы.

Накатывание резьбы можно осуществлять на углеродистых, легированных, нержавеющей стали, на медных, алюминиевых, титановых сплавах, если их относительное удлинение не меньше 12 %, а твердость менее 35 HRC. В отдельных случаях можно накатывать резьбу при меньшей пластичности и большой твердости металла (относительное удлинение не меньше 8 %, а твердость — до 40 HRC), но стойкость резбонакатного инструмента при этом резко снижается.

Резбонакатные станки подразделяют на станки с плоскими и круглыми плашками. При накатывании резьбы плоскими плашками заготовку прокатывают между двумя плашками, на рабочие поверхности которых наносят развертки винтовых ниток накачиваемой резьбы. Направление ниток у плашек одинаковое, но противоположное направлению ниток резьбы детали. Угол между направлениями ниток на двух противоположных плашках равен двойному среднему углу подъема резьбы.

Так как винтовая поверхность резьбы не развертывается в плоскость, теоретически правильного профиля при накатывании не получается. Однако при небольших углах подъема и небольшой глубине резьбы эта методическая погрешность невелика.

Накатывание роликами (круглыми плашками) применяют чаще, чем накатывание плоскими плашками.

На роликах есть винтовые нитки, направление которых противоположно винтовым ниткам нарезаемой резьбы. Средний угол подъема и шаг резьбы роликов должны быть равны среднему углу подъема  $\alpha$  и шагу резьбы  $P$  накачиваемой заготовки. Так как средний диаметр роликов обычно во много раз больше среднего диаметра заготовки, ролики выполняют *многозаходными*. При накатывании метрических резьб число заходов ролика равно частному от деления средних диаметров резьбы ролика и заготовки.

В силу того обстоятельства, что наружные диаметры роликов формируют внутренний диаметр резьбы, а внутренние диаметры роликов — наружный диаметр резьбы, происходит некоторое искажение профиля резьбы на заготовке, так как углы подъема ниток на этих диаметрах у роликов и заготовки не совпадают. Однако при небольших углах подъема и небольшой глубине профиля эти погрешности, подобные рассмотренным ранее при плоском накатывании, невелики.

Для накатывания наружных резьб применяют также резбонакатные плашки и головки, резьбовые сегменты, а для раскатывания внутренних резьб — раскатники (метчики-накатники), роликовые раскатки и самонарезающие винты.

Существуют три основных способа накатывания резьбы (рис. 10.15): с тангенциальной или радиальной подачами инструмента на накатываемую заготовку и с осевой (продольной) подачей инструмента или заготовки.

**Накатывание наружной резьбы с тангенциальной подачей инструмента** можно проводить плоскими или сегментными плашками и цилиндрическими роликами.

**Накатывание наружной резьбы плоскими плашками** (рис. 10.15, а) проводят на плосконакатных станках (автоматах) или на поперечно-строгальных станках, приспособленных для накатывания резьбы.

Одна из плашек 1, называемая неподвижной, закреплена в плашкодержателе станины станка. Вторая (верхняя) плашка 1, называемая подвижной, закреплена в выемке ползуна, совершающего прямолинейное возвратно-поступательное движение в направляющих станины. Когда ползун с подвижной плашкой находится в крайнем заднем положении, заготовка 2 обрабатываемого изделия вталкивается специальным толкателем в пространство между плашками. При движении ползуна вперед заготовка под действием силы трения начинает вращаться вокруг своей оси и поступательно перемещаться вдоль плашек. Клинообразные нарезки плашек при этом постепенно вдавливаются в тело заготовки, образуя углубления, а излишек вытесненного металла заполняет впадины нарезок плашек. Прокатившись по всей поверхности последних, изделие с окончательной резьбой (при крайнем переднем положении ползуна) автоматически выпадает в приемник обработанных деталей.

Основные элементы плашек — это заборный участок, выполняющий работу формообразования резьбы; калибрующий участок, выполняющий калибрование резьбы; сбрасывающий участок (на неподвижной плашке), облегчающий освобождение накатанной детали.

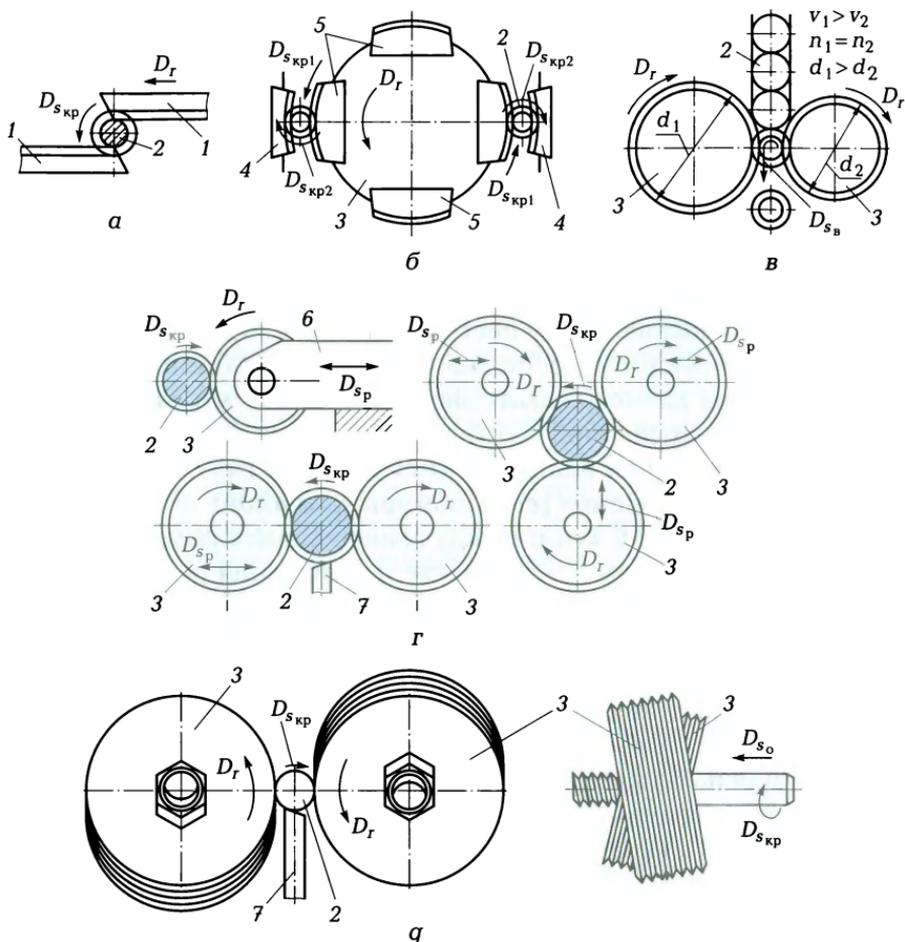


Рис. 10.15. Способы накатывания резьбы:

*a* — плоскими плашками; *б* — вращающимся роликом с сегментными плашками и неподвижными сегментными плашками; *в* — двумя роликами разных диаметров; *г* — роликами с их радиальной подачей; *д* — роликами (оси которых параллельны или скрещиваются) с осевой подачей заготовки: 1 — плоские плашки; 2 — заготовка; 3 — ролики; 4, 5 — неподвижные и вращающиеся сегментные плашки соответственно; 6 — державка; 7 — стойка;  $v_1, v_2$  — окружные скорости;  $n_1, n_2$  — частоты вращения;  $d_1, d_2$  — диаметры роликов

Подвижная плашка длиннее неподвижной, что исключает «затаскивание» детали при обратном ходе подвижной плашки и обеспечивает освобождение накатанной детали.

Направление угла подъема резьбы на плашках противоположно направлению накатываемой резьбы. В направлении оси накатываемой заготовки резьбовые профили плашек должны быть сдвинуты

(считая от установочной поверхности) на  $0,5P$  ( $P$  — шаг резьбы) с допустимым отклонением  $\pm 0,02$  мм.

Накатные плашки изготавливают из стали марок X12Y; X12Ф1; X12ТФ; X6ВФ; 9ХС. Твердость плашек после термической обработки составляет 58...62 НРС. Шероховатость поверхности резьбы накатной плашки зависит от исходного состояния и размеров заготовки, качества плашек и соответствует  $Ra$  1,25...0,32 мкм.

Способ наиболее широко применяют в крупносерийном и особенно в массовом производстве резьбовых деталей 6–8-й степеней точности с шероховатостью поверхности  $Ra$  1,25...0,32 мкм на деталях из конструкционных сталей и цветных металлов.

Наибольший диаметр накатываемой резьбы 27 мм, наименьший 1 мм; длина накатываемой резьбы 60...80 мм.

**При накатывании вращающимся роликом с сегментом и неподвижным сегментом (сегментной плашкой)** (рис. 10.15, б) заготовка поступает в зазор между вращающимся роликом 3 и неподвижным сегментом 4. В процессе накатывания резьбы она совершает планетарное движение вместе с роликом 3 относительно его оси с одновременным вращением относительно собственной оси с незначительным скольжением. В результате на поверхности заготовки получается отпечаток резьбы инструмента. Резьба на плашке 5 и сегменте 4 — многозаходная с одинаковыми углами подъема. Для накатывания правой резьбы резьба на плашке левая, а на сегменте правая; для накатывания левой резьбы резьба на плашке правая, а на сегменте левая.

Накатывание резьбы вращающимся роликом и неподвижным сегментом проводят на специальных резьбонакатных станках или на специальных приспособлениях, устанавливаемых на токарном станке. В простейшем случае заготовка при помощи толкателя захватывается вращающимся цельным резьбовым роликом и прокатывается между ним и неподвижно закрепленным резьбовым сегментом.

Чтобы повысить производительность труда и устранить отжатие ролика, с противоположной стороны сегмента устанавливают второй сегмент и одновременно накатывают две заготовки. На планетарном накатном станке (см. рис. 10.15, б) монтируют две неподвижные (вогнутые) 4 и четыре подвижные (выпуклые) 5 плашки (сборный ролик). При наличии двух бункеров для заготовок 2 и двух загрузочных устройств, за один оборот может быть накатано восемь заготовок, что обеспечивает высокую производительность станка.

Простота схемы и соответственно конструкции резьбонакатных устройств для планетарного накатывания резьбы позволяет легко

осуществить этот процесс при отсутствии специального оборудования в условиях любого предприятия.

Способ применяют для малых по диаметру крепежных винтов с допусками по 8-й степени точности. *Негостатки* способа — сложность изготовления резьбы на сегментах и малая стойкость цельных или сборных роликов.

**Накатывание двумя роликами разного диаметра с тангенциальной подачей заготовок** на проход между роликами (рис. 10.15, в) используется для изготовления резьб диаметром до 10 мм.

Два резьбонакатных ролика 3, установленные на требуемом межосевом расстоянии, вращаются с различной окружной скоростью в одну и ту же сторону. Оси роликов параллельны оси заготовки. Подача заготовок 2, поступающих из загрузочного устройства в зазор между роликами, осуществляется благодаря тому, что комплект состоит из двух роликов разного диаметра, а при накатывании им сообщается равная частота вращения. Разность окружных скоростей создает усилие проталкивания заготовок между роликами.

Чтобы происходило самозатягивание заготовок, необходимо соблюдение такого соотношения диаметров накатных роликов и заготовки, при котором  $f > \operatorname{tg} \alpha$ , где  $f$  — коэффициент трения между роликами и заготовкой;  $\alpha$  — угол захвата заготовки роликом.

Для накатывания по описанному способу можно применять как стандартные двухроликовые накатные станки, так и специальные накатные автоматические станки.

Резьба, накатанная роликами рассматриваемого способа, соответствует 6-й степени точности и шероховатости поверхности  $Ra$  1,25... 2,5 мкм.

**Накатывание наружных резьб с радиальной подачей инструмента** осуществляют одним, двумя или тремя роликами 3 (рис. 10.15, г).

**Накатывание одним роликом** применяют для резьб диаметром до 15 мм на заготовках из цветных металлов и мягкой стали.

Накатывание одним роликом обычно проводится непосредственно в процессе обработки заготовки на токарных автоматах, револьверных и токарных станках. Ролик 3 укрепляется в державке на поперечном суппорте и получает радиальную подачу. Под действием радиального усилия ролик 3 вдавливаясь своими нитками в заготовку 2 и накатывает на ней резьбу. Шероховатость поверхности резьбы, накатанной одним роликом, соответствует  $Ra$  0,63... 2,5 мкм, а точность — 6–8-й степеням точности.

**Накатывание двумя роликами с радиальной подачей** применяют для резьб диаметром от 0,3 до 120 мм, накатываемых на сплошных

или полых тонкостенных заготовках из цветных металлов, из нормализованной и термически обработанной стали (см. рис. 10.15, г).

Ролики 3, оси которых параллельны оси накачиваемой заготовки 2, вращаются в одном направлении, при этом один из них совершает поступательное движение подачи, заготовка 2 устанавливается на опорном ложе стойки 7. При сближении на заданное межцентровое расстояние ролики, сдавливая заготовку, увлекают ее во вращение и накачивают на ней резьбу.

При накачивании правых резьб ролики вращаются по направлению вращения часовой стрелки, а при накачивании левых резьб — против часовой стрелки. При установке роликов их профили смещены относительно друг друга точно на  $1/2$  шага.

При накачивании роликами с радиальной подачей точность резьбы выдерживается в допусках 5-й степени и выше.

*Накачивание тремя роликами* выполняют следующим образом. Три ролика 3, вертикальные оси которых расположены параллельно оси накачиваемой заготовки, принудительно вращаются в одном направлении. При помощи специальных колец и кулачка ролики можно сближать и удалять друг от друга (см. рис. 10.15, г).

Когда ролики сближаются, нитки их резьбы вдавливаются в тело заготовки 2.

Этот способ имеет ограниченное применение и обычно используется для изготовления коротких резьб на болтах, винтах и полых заготовках диаметром более 12 мм.

***Накачивание наружных резьб с осевой подачей заготовок*** проводят круглой плашкой без стружечных отверстий. С осевой подачей заготовки резьбу накачивают несколькими роликами 3, снабженными заборными частями, при постоянном межцентровом расстоянии (рис. 10.15, г). При накачивании роликами после того, как под влиянием предварительной осевой подачи на заготовке образуются первые, хотя и неполные, витки, создается резьбовая пара, в которой роль винта играет заготовка, а роль гайки — ролики. В дальнейшем при наличии относительного вращательного движения накачивание происходит за счет самозатягивания. Различают две разновидности процесса накачивания роликами с осевой подачей заготовок: роликами с винтовой нарезкой и роликами с кольцевым профилем витков. В первом случае оси роликов и накачиваемой заготовки параллельны, а во втором наклонены под углом подъема резьбы.

*Способ накачивания наружной резьбы двумя роликами с кольцевой нарезкой* применяют для деталей с длинными резьбовыми участками, а также при крупном шаге резьбы.

Оси роликов 3 перекрещиваются под углом, соответствующим двойному углу подъема резьбы. Расстояние между осями роликов в процессе накатки сохраняется постоянным. Накатываемая заготовка 2 подается в осевом направлении, захватывается роликами и получает вращательно-поступательное перемещение (ввинчивается в витки роликов) со скоростью осевой подачи  $v = v \sin \alpha$ , мм/с, где  $v$  — окружная скорость накатных роликов, мм/с;  $\alpha$  — угол между осями роликов и накатываемой заготовки, ...°.

**Раскатывание внутренних резьб** методом пластического деформирования может быть рекомендовано главным образом для деталей из цветных металлов и сплавов, а также черных металлов и сплавов при условии, что диаметр резьбы находится в пределах от  $M3 \times 0,5$  до  $M10 \times 1,5$  мм при длине до  $3d$  (при алюминии до  $6d$ ). В качестве инструмента для раскатывания резьбы применяют раскатники из стали марки P18, X12M, X12Ф1 или твердого сплава. Раскатник по форме напоминает метчик и состоит из заборного конуса, калибрующей части и хвостовика. Заборная часть выполнена в виде конической резьбы с полным профилем, калибрующая часть имеет длину от 8 до 20 витков (чем меньше шаг резьбы, тем больше витков). В поперечном сечении рабочая часть имеет трехгранную форму (огранку). В качестве кривой для затылования профиля поперечного сечения раскатников принята архимедова спираль. С целью снижения величины крутящего момента раскатники диаметром свыше 5 мм следует снабжать смазочными канавками по всей длине рабочей части на нерабочих участках профиля. Число канавок соответствует числу граней.

Скорость раскатывания в сталях составляет 0,1 ... 0,17 м/с, а цветных металлов и сплавов до 0,5 м/с. При повышенных требованиях к качеству поверхности ( $Ra$  0,63 ... 0,32 мкм) скорость раскатывания увеличивают до 0,27 м/с.

Опыты по накатыванию внутренних резьб, приведенные инженером О. С. Андрейчиковым, показывают, что прочность резьбы на срез выше, чем у резьбы, полученной метчиками, стойкость раскатников в 6 — 50 раз выше стойкости метчиков.

Для накатывания внутренней резьбы не требуется специального оборудования и оснастки.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

---

1. Перечислите типы зубо- и резьбообрабатывающих станков.
2. Перечислите способы формообразования зубчатых венцов.

3. Каковы схемы зубофрезерования, зубодолбления?
4. Как можно осуществлять накатывание зубчатых колес?
5. Какими методами осуществляют чистовую обработку зубчатого венца у цилиндрических зубчатых колес?
6. Какими способами можно получать зубчатый венец у червячных и конических зубчатых колес?
7. Как осуществляют нарезание резьб на резьбофрезерных станках, на болторезных и гайкорезных станках?
8. Как можно накатывать и раскатывать резьбы?

## ФРЕЗЕРОВАНИЕ

### 11.1. ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДА ФРЕЗЕРОВАНИЯ

---

#### 11.1.1. Общие сведения

**Фрезерование** — метод обработки поверхностей заготовок многолезвийным режущим инструментом — *фрезой*.

Фрезерованием обрабатывают плоские и фасонные поверхности, прорезают пазы и шпоночные канавки, разрезают заготовки.

Процесс фрезерования осуществляют в результате сложения двух движений: главного движения  $D_r$  — вращательного (фрезы) и движения подачи  $D_s$  — обычно прямолинейного (обрабатываемой заготовки или фрезы). Движением подачи может быть и вращательное движение заготовки вокруг оси вращающегося стола или барабана (карусельно-фрезерные и барабанно-фрезерные станки).

Фрезерование разделяют на черновое, получистовое, чистовое и тонкое.

**Черновое** фрезерование применяют для предварительной обработки заготовок. Черновое фрезерование плоскостей обеспечивает шероховатость поверхности  $Rz\ 160 \dots 80$  мкм и отклонение от прямолинейности  $0,15 \dots 0,3$  мм на 1 м длины.

**Получистовое** фрезерование используют для уменьшения погрешностей геометрических форм и пространственных отклонений. Оно обеспечивает шероховатость поверхности  $Rz\ 80 \dots 40$  мкм и отклонение от плоскостности  $0,1 \dots 0,2$  мм на 1 м длины.

**Чистовое** фрезерование применяют для окончательной обработки или перед отделочной обработкой. Оно обеспечивает шероховатость поверхности от  $Rz\ 40$  до  $Ra\ 2,5$  мкм и отклонение от плоскостности  $0,04 \dots 0,08$  мм на 1 м длины.

**Тонкое** фрезерование применяют для отделочной обработки. Тонкое фрезерование обеспечивает  $Ra\ 2,5 \dots 0,63$  мкм и отклоне-

ние от плоскостности 0,02...0,04 мм на 1 м длины. Применение скоростных режимов при фрезеровании позволяет получить при черновом  $Rz\ 80...20$  мкм, при получистовом от  $Rz\ 40$  до  $Ra\ 2,5$  мкм, при чистовом —  $Ra\ 2,5...0,63$  мкм.

Работы на фрезерных станках выполняют против движения подачи (рис. 11.1, а) и по движению подачи (рис. 11.1, б) фрезами, различаемыми по технологическим и конструктивным признакам: цилиндрическими (рис. 11.1, в), торцовыми (рис. 11.1, г), дисковыми, прорезными, отрезными, концевыми, угловыми и фасонными. Тонкое фрезерование обычно проводят летучими фрезами, которые состоят из корпуса с закрепленными в нем двумя-тремя резцами. Летучие фрезы работают по методу деления глубины фрезерования. Резцы летучей фрезы установлены на различных расстояниях от оси вращения фрезы и от обрабатываемой поверхности. Ближайший к оси вращения фрезы резец — чистовой, а все последующие — черновые. Для тонкого декоративного фрезерования плоских по-

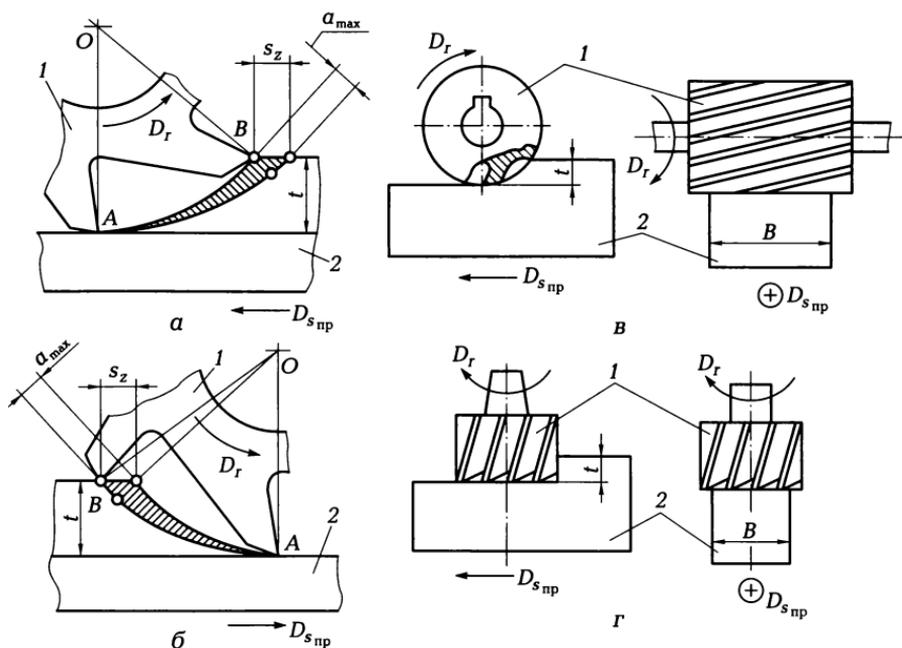


Рис. 11.1. Схемы фрезерования против движения подачи (а) и по движению подачи (б) цилиндрической (в) и торцовой (г) фрезами:

1 — фреза; 2 — заготовка;  $D_r$  — главное движение;  $D_{snp}$  — движение продольной подачи;  $B$  — ширина фрезерования;  $O$  — ось фрезы;  $s_z$  — подача на зуб;  $a_{max}$  — максимальная толщина срезаемого слоя;  $t$  — глубина фрезерования

верхностей деталей из цветных металлов и сплавов до  $Ra\ 0,08 \dots 0,04$  мкм шероховатости поверхности применяют летучие фрезы, оснащенные алмазными резцами.

### 11.1.2. Геометрические параметры режущей части фрез

Геометрические параметры режущей части цилиндрической, торцевой и дисковой фрез показаны на рис. 11.2.

*Передний угол*  $\gamma$  изменяется в плоскости схода стружки, условно принимаемой в направлении, нормальном к главной режущей кромке 1–2 и передней поверхности зуба.

*Главный угол в плане*  $\varphi$  влияет на толщину срезаемого слоя при одной и той же подаче, на соотношение составляющих сил, действующих на фрезу, на стойкость фрезы и качество обработанной поверхности. Чем меньше угол  $\varphi$ , тем меньше толщина срезаемого слоя, тем выше стойкость фрезы и чище обработанная поверхность, но тем больше осевая составляющая силы резания.

*Главный задний угол*  $\alpha$  измеряют в плоскости траектории движения точки кромки, т. е. в плоскости, перпендикулярной оси фрезы. Задний угол  $\alpha$  — угол между касательной к задней поверхности зуба фрезы и линией, касательной к траектории движения точки режущей кромки, принимаемой за окружность.

*Угол наклона зубьев*  $\omega$  винтовой режущей кромки служит для обеспечения более спокойных условий резания и создания направления сходящей стружки. При работе фрезами с винтовыми зубьями нужно обращать внимание на соответствие направлений вращения шпинделя и винтовых канавок фрезы.

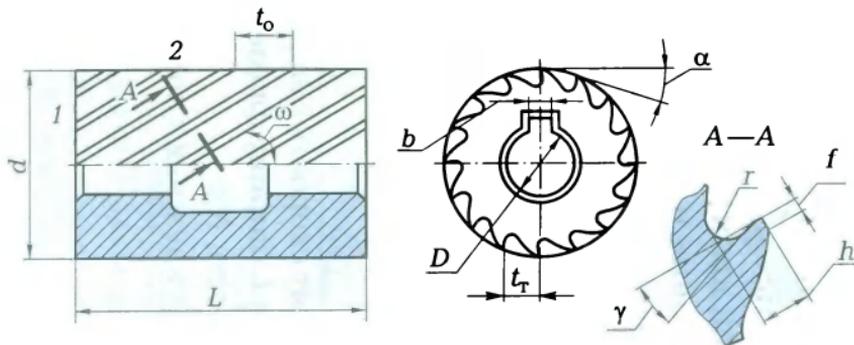
### 11.1.3. Режим резания и элементы срезаемого слоя при фрезеровании

К режиму резания при фрезеровании относят скорость главного движения резания  $v$ , подачу  $s$ , глубину резания  $t$ , ширину фрезерования  $B$ , осевую силу  $P$  и эффективную мощность  $N_e$ .

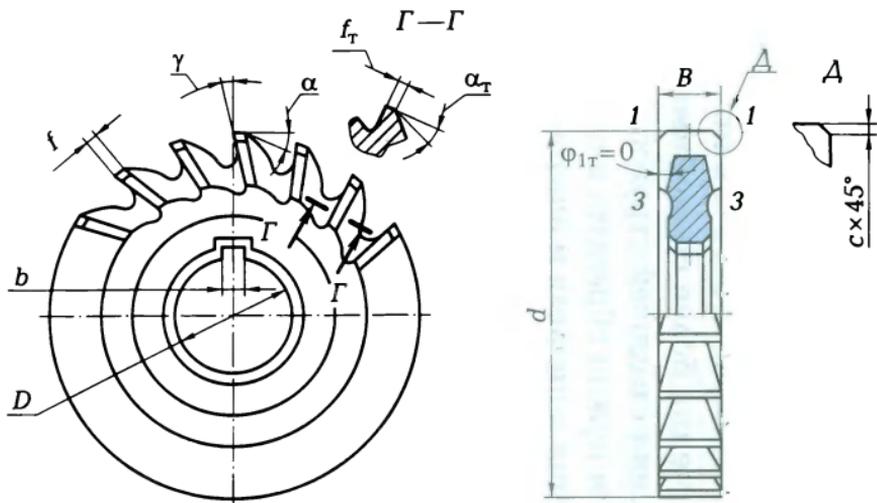
**Скорость главного движения резания** (окружная скорость вращения фрезы), м/с:

$$v = \pi d n / (1\ 000 \cdot 60),$$

где  $d$  — диаметр фрезы, мм;  $n$  — частота вращения фрезы, об/мин.



a



B

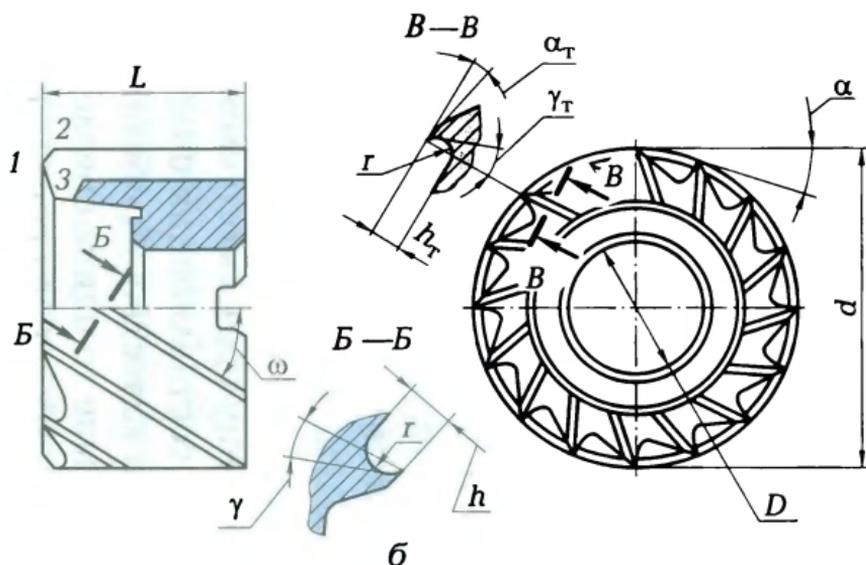


Рис. 11.2. Геометрические параметры режущей части цилиндрической (а), торцевой (б) и дисковой (в) фрез: 1-1, 1-2 — главная режущая кромка; 1-3 — вспомогательная режущая кромка;  $t_o$ ,  $t_r$  — осевой и торцовый шаги зубьев фрезы;  $\alpha$ ,  $\gamma$  — соответственно главный задний и передний угол на цилиндрической части фрезы;  $h$ ,  $f$  — высота зубьев и ширина ленточки на цилиндрической части;  $\alpha_{\Gamma}$ ,  $\gamma_{\Gamma}$ ,  $\phi_{1\Gamma}$  — главный задний, передний и вспомогательный угол в плане на торце фрезы;  $h_r$ ,  $f_r$  — высота зубьев и ширина ленточки на торце;  $d$  — диаметр фрезы;  $D$  — диаметр посадочного отверстия;  $L$  — длина торцевой фрезы;  $b$  — ширина шпоночного паза;  $B$  — ширина дисковой фрезы;  $r$  — радиус скругления

Скорость резания, допускаемую геометрией и режущими свойствами фрезы, свойствами материала заготовки и условиями обработки, подсчитывают по эмпирической формуле, м/с:

$$v = \frac{C_v d^q \omega^p K_v}{T^m s_z^x t^y B^r z^n 60'}$$

где  $C_v$  — коэффициент, характеризующий материал и условия обработки;  $d$  — диаметр фрезы, мм;  $\omega$  — угол наклона винтовой канавки фрезы, ...° (для торцовых фрез угол  $\omega$  не учитывают);  $T$  — стойкость фрезы, мин;  $s_z$  — подача на один зуб, мм/зуб;  $t$  — глубина резания, мм;  $B$  — ширина фрезерования, мм;  $z$  — число зубьев фрезы;  $q, p, m, x, y, r, n$  — показатели степеней (приводятся в справочниках с индексами  $v$ , а именно:  $q_v, p_v, \dots, n_v$ ; для простоты написания в формуле индексы  $v$  опущены);  $K_v$  — общий поправочный коэффициент, учитывающий изменение условий обработки.

**Погача** — величина перемещения обрабатываемой заготовки в минуту  $s_m$ , мм/мин, за время углового поворота фрезы на один зуб  $s_z$ , мм/зуб, или за время одного оборота фрезы  $s_o$ , мм/об.

На практике пользуются всеми тремя значениями подачи. Между ними существуют следующие зависимости:

$$s_z = \frac{s_o}{z} = \frac{s_m}{nz}; \quad s_o = s_z z; \quad s_m = s_o n = s_z z n,$$

где  $z$  — число зубьев фрезы.

**Глубина резания  $t$**  — толщина слоя металла, снимаемого с поверхности заготовки за один проход, мм.

**Ширина фрезерования  $B$**  — это ширина обрабатываемой поверхности, мм.

**Толщина срезаемого слоя  $a$**  переменна на протяжении всей дуги контакта зуба фрезы с заготовкой. Она измеряется в радиальном направлении от центра фрезы.

У цилиндрических, дисковых, фасонных и концевых фрез с прямым зубом толщина срезаемого слоя постоянна вдоль всей длины режущей кромки. Ширина  $B$  и глубина  $t$  фрезерования при обработке основными видами фрез показаны на рис. 11.1, в, г.

Величину окружной силы резания  $P$ , Н, при фрезеровании подсчитывают по формуле

$$P = C_p t^x s_z^y B^z z^n d^{-q},$$

где  $C_p$  — коэффициент, характеризующий обрабатываемый материал и условия обработки.

Коэффициент  $C_p$  и показатели степеней  $x$ ,  $y$ ,  $q$  приведены в справочниках с индексами  $p$ , как и  $C_p$ .

Эффективная мощность, кВт,

$$N_e = P_v / (1\,000 \cdot 60).$$

### 11.1.4. Особенности процесса фрезерования

Процесс образования стружки при фрезеровании сопровождается теми же явлениями, что и процесс стружкообразования при точении. Вместе с тем процесс фрезерования имеет свои специфические *особенности*: толщина слоя, срезаемого каждым зубом фрезы, переменна и изменяется от некоторого минимума до максимума или наоборот (см. рис. 11.1, а, б); одновременно в работе находится несколько режущих лезвий; режущие лезвия работают с перерывами. Если главное движение, т.е. вращение фрезы (см. рис. 11.1, а), и движение подачи направлены навстречу друг другу, то имеет место встречное фрезерование, называемое обычно фрезерованием против движения подачи. Если главное движение и движение подачи происходят в одном направлении (см. рис. 11.1, б) имеет место попутное фрезерование, называемое обычно фрезерованием по движению подачи.

**Встречное фрезерование** характеризуется тем, что процесс резания начинается в точке  $A$  с нулевой толщины срезаемого слоя и заканчивается в точке  $B$  с максимальной толщиной  $a_{\max}$  срезаемого слоя.

Фреза отрывает заготовку от стола, приводя к увеличению зазора между столом и направляющими станины, вызывая вибрации и увеличение шероховатости обработанной поверхности. Работа зубьев фрезы связана с затруднительными условиями врезания зуба в металл.

При встречном фрезеровании нагрузка на зуб фрезы возрастает от нуля до максимума.

**Достоинство** фрезерования против движения подачи — это работа зубьев фрезы «из-под корки», т.е. фреза подходит к твердому поверхностному слою снизу и отрывает стружку при подходе к точке  $B$ . **Недостаток** — наличие начального скольжения зуба по наклепанной поверхности, образованной предыдущим зубом, что вызывает повышенный износ фрезы.

**Попутное фрезерование** приводит к срезанию слоя наибольшей толщины в момент входа зуба фрезы в металл в точке  $B$  и нулевой толщины в момент выхода зуба в точке  $A$ .

Фреза прижимает заготовку к столу, а стол — к направляющим станины. Работа по второй схеме протекает более спокойно и обеспечивает более высокое качество обработанной поверхности, чем при работе по первой схеме.

При фрезеровании по движению подачи зуб фрезы сразу начинает срезать слой максимальной толщины и подвергается максимальной нагрузке. Это исключает начальное проскальзывание зуба, уменьшает износ фрезы и шероховатость обработанной поверхности.

### 11.1.5. Равномерность процесса фрезерования

Процесс фрезерования считают равномерным, когда суммарная длина режущих кромок, находящихся в работе, остается постоянной, что приводит к плавному изменению суммарной площади поперечного сечения срезаемого слоя, а следовательно, к незначительному колебанию силы резания. Это достигается только для фрез с винтовым зубом при условии кратности ширины фрезерования  $B$  осевому шагу  $t_o$  фрезы (рис. 11.3), т. е.

$$B/t_o = k,$$

где  $k$  — целое число зубьев, работающих одновременно.

Зависимость между осевым  $t_o$  и торцовым  $t_r$  шагами цилиндрической фрезы диаметром  $d$  определяется из треугольника  $abc$ . Так как торцовый шаг

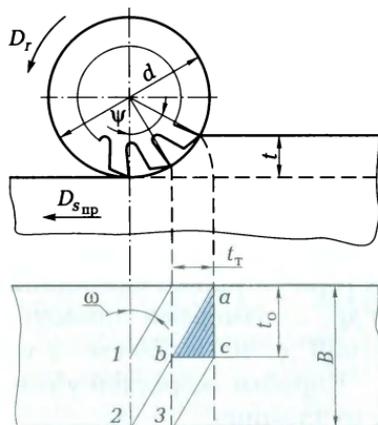


Рис. 11.3. Схема расположения зубьев при равномерном фрезеровании:

1, 2 и 3 — развертка на плоскость винтовых зубьев фрезы;  $t$  — глубина резания;  $\psi$  — угол, охватывающий обрабатываемую поверхность;  $\omega$  — угол наклона зуба;  $abc$  — треугольник, катетами которого являются шаги зубьев (остальные обозначения см. на рис. 11.2)

$$t_r = \frac{\pi d}{z}, \text{ то } t_o = \frac{\pi d}{z} \text{ctg } \omega.$$

Угол наклона зубьев фрезы при равномерном фрезеровании определяют по формуле

$$\omega = \text{arctg} \frac{Bz}{k\pi d}.$$

Рекомендуется брать  $k = 2 \dots 3$ . В этом случае наибольшее колебание силы резания не превышает 20 %, что обеспечивает получение высокого качества обработанной поверхности.

## 11.2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ФРЕЗЕРОВАНИЯ

Конструкции фрезерных станков многообразны: вертикальные и горизонтальные консольные, непрерывные, копировальные, бесконсольные вертикальные, широкоуниверсальные, продольные и др. Выпускают станки универсальные, специализированные и специальные.

К универсальному виду оборудования относят консольные горизонтально- и вертикально-фрезерные станки, они имеют много общих узлов. Прежде всего консоль — выступающая корпусная деталь, в которой расположена коробка подач и которая перемещается по вертикальным направляющим станины станка (вертикальная подача  $D_{sv}$ ). По направляющим на консоли перемещаются салазки (поперечная подача  $D_{sn}$ ), а по направляющим салазков перемещается стол (продольная подача  $D_{сп}$ ). Таким образом, заготовка, устанавливаемая на столе в тисках или другом приспособлении, получает перемещения вдоль трех взаимно-перпендикулярных координатных осей. Главное движение резания  $D_r$  — это вращение шпинделя вокруг вертикальной оси (у вертикально-фрезерных станков моделей 6Н11, 6А12Р, 6С12Ц и др. с размерами прямоугольных столов от  $200 \times 800$  до  $630 \times 1600$  мм или с круглым накладным столом диаметром 320 мм и более) или вокруг горизонтальной оси (у горизонтально-фрезерных станков моделей 6Н804Г, 6Н81Г, М83Г и др. с размерами прямоугольных столов от  $160 \times 630$  мм у модели 6Н80Г до  $400 \times 1600$  мм у модели 6М83Г).

Коробка скоростей у всех вышеупомянутых станков размещена в их станине.

На вертикально-фрезерном станке шпиндельная головка, несущая шпиндель, может поворачиваться в вертикальной плоскости. На ряде этих станков возможно как встречное, так и попутное фрезерование.

К универсальным относят горизонтально-фрезерные станки, имеющие поворотную плиту, которая позволяет поворачивать рабочий стол в горизонтальной плоскости и устанавливать его в требуемом положении.

У всех фрезерных станков величины поступательных перемещений элементов станка регулируются коробками подач, а главные вращательные перемещения (шпинделей) — коробками скоростей.

Обработку на этих станках осуществляют специальными или обычными стандартными фрезами.

На вертикально-фрезерном бесконсольном станке с ЧПУ программированные перемещения заготовки относительно инструмента одновременно по нескольким координатам позволяют получать сложную фасонную поверхность. Обработку заготовок на фрезерных станках с ЧПУ проводят попутным и встречным фрезерованием с одинаковой точностью, так как в коробках подач предусмотрено устройство для выбора зазоров.

Станки непрерывного фрезерования (модели 621М, 6М23, 6А23 и др.) бывают карусельно-фрезерные, у которых стол с заготовками (карусель) поворачивается относительно вертикальной оси, и барабанно-фрезерные, с горизонтальной осью поворота барабана (стола) также при круговой подаче. Станки применяют в условиях серийного и массового производства, причем часто загрузку-выгрузку заготовок на карусель или барабан осуществляют на ходу, без их остановки.

Копировально-фрезерные станки предназначены для обработки фасонных поверхностей сложного профиля.

Различают контурное и объемное фрезерование.

Контурное фрезерование применяют для получения плоских фасонных поверхностей замкнутого криволинейного контура с прямолинейной образующей (например, плоских кулачков, шаблонов и т.д.). Объемное фрезерование применяют для получения объемных фасонных поверхностей (например, лопаток турбин, коноидов, деталей пресс-форм и т.д.).

Копировально-фрезерные станки (модели 6Л463, 6А426, 6М42К и др.) выполняют универсальными и специализированными, для обработки конкретной детали (шинных пресс-форм, профилей плоских шаблонов, лонжеронов, лопаток турбин и т.д.). Универ-

сальные копирующие станки позволяют делать гравировку или изготавливать детали штампов, матриц, пресс-форм и другие детали с рельефными поверхностями и контурами. Собственно копирование осуществляют по разметке с ручным управлением, по плоскому шаблону, по объемной модели (из гипса, дерева, металла), по программе, записанной на магнитной пленке, или по копиру.

Продольно-фрезерные станки (модели 6605, 6606, 6Г608 и др.) предназначены для обработки заготовок большой массы и размеров (типа станин, корпусов, коробок передач, рамных конструкций и т.д.). Продольно-фрезерные станки строят одно- и двухстоечными с длиной стола 1 250... 12 000 мм и шириной 400... 5 000 мм, с одним или несколькими шпинделями. Они позволяют фрезеровать вертикальные, горизонтальные и наклонные плоскости, пазы и т.д. на самых длинных и крупных заготовках (массой до 30 т) или группы заготовок одновременно в условиях серийного производства с применением быстрорежущих и твердосплавных фрез.

Некоторые станки позволяют вести встречное и попутное фрезерование.

Продольно-фрезерные станки с ЧПУ оснащены ползунковыми бабками, расположенными на стойках и траверсе, и имеют перемещение по двум взаимно-перпендикулярным координатам. Бабки оснащены комплектом быстросменных или автоматически сменяемых навесных головок, что позволяет без перезакрепления проводить комплексную фрезерно-сверлильно-расточную обработку.

Объемное фрезерование наиболее успешно осуществляется на фрезерных станках с ЧПУ.

На базе фрезерных станков с ЧПУ выпускают многоцелевые станки, предназначенные для комплексной обработки корпусных заготовок с четырех сторон без переустановки.

Широкоуниверсальные фрезерные станки могут работать с горизонтальным, наклонным или вертикальным расположением одного или двух шпинделей при обработке средних по величине деталей различной формы. Эти станки оснащают большим набором принадлежностей: угловыми и круглыми столами, тисками, делительными головками и столами, быстропроходными головками и т.д.

Стол станка имеет размеры от 200 × 500 мм (мод. 675) до 400 × × 1 600 мм (мод. 6М83Ш). Станки находят применение в условиях единичного и серийного производства.

Разные станки фрезерной группы включают в себя металлорежущее оборудование, предназначенное для обработки конкретных заготовок или видов поверхностей: резьбофрезерные, шпоночно-фрезерные, шлицефрезерные, а также станки для обработки шли-

цов корончатых гаек, канавок спиральных и центровочных сверл, канавок шпоночных и дисковых фрез, плоскостей слитков и т. д.

### 11.3. ТИПЫ ФРЕЗ, ИХ ИЗНОС И ЗАТОЧКА

В зависимости от назначения и вида обрабатываемых поверхностей различают следующие типы фрез: цилиндрические (см. рис. 11.1, *в* и 11.2, *а*), торцовые (см. рис. 11.1, *г* и 11.2, *б*), дисковые (см. рис. 11.2, *в*), концевые (рис. 11.4, *а*), угловые (рис. 11.4, *б*), шпоночные (рис. 11.4, *в*), фасонные (рис. 11.4, *г*).

Фрезы изготовляют цельными (см. рис. 11.4, *а–г*) или сборными (рис. 11.4, *г*). Режущие кромки могут быть прямыми (см. рис. 11.2, *в*) или винтовыми (см. рис. 11.1, *в, г*, 11.2, *а, б* и 11.4, *а, в*). Фрезы имеют остроконечную (рис. 11.4, *е*) или затылованную (рис. 11.4, *ж*) форму зуба. У фрез с остроконечными зубьями передняя и задняя поверхности лезвия плоские. У фрез с затылованными зубьями передняя поверхность плоская, а задняя выполнена по спирали Архимеда (в сечении, перпендикулярном оси фрезы), при переточке по передней поверхности профиль зуба фрезы сохраняется.

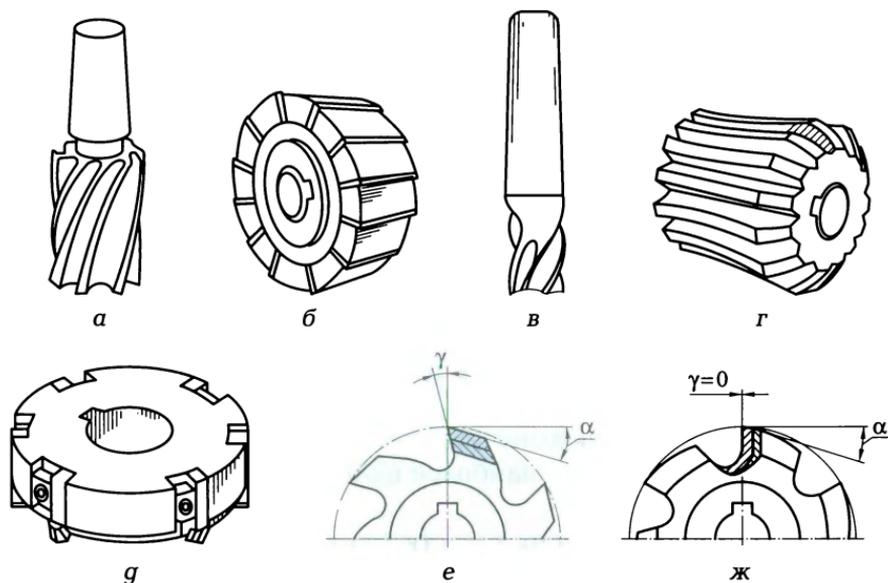


Рис. 11.4. Типы фрез:

*а* — концевая; *б* — угловая; *в* — шпоночная; *г* — фасонная; *д* — сборная; *е* — с остроконечным зубом; *ж* — с затылованным зубом

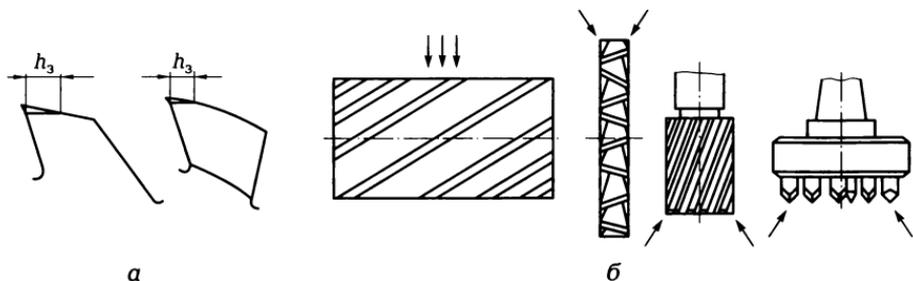


Рис. 11.5. Схемы износа остроконечного и затылованного зуба фрез (а) и зоны интенсивного изнашивания фрез разных типов (б):

$h_3$  — износ задней поверхности

Цельные фрезы изготавливают из инструментальных сталей. У сборных фрез (см. рис. 11.4, *г*) зубья (ножи) выполняют из быстрорежущих сталей или оснащают пластинами из твердых сплавов и закрепляют в корпусе фрезы пайкой или механически. Изготавливают торцовые фрезы с механически закрепленными ножами из композитов.

Эффективное использование режущих инструментов невозможно без периодической заточки затупившихся, изношенных элементов. Частое затачивание инструментов, как и чрезмерно редкое, не способствует их лучшей работе. В результате многочисленных опытов получены значения допустимых износов фрез в зависимости от их назначения, обрабатываемого материала, материала режущей части инструмента и стадии обработки заготовки.

Изнашивание фрез протекает по передней и задней поверхностям, но определяющим является износ  $h_3$  задней поверхности. Фрезы разного назначения имеют свои места наибольшего износа: угловые фрезы — по большому диаметру, фасонные фрезы — места с худшей геометрией, цилиндрические фрезы — среднюю, наиболее используемую часть цилиндра, торцовые сборные головки — вершины ножей и т.д. На рис. 11.5, *а* показано измерение износа  $h_3$  остроконечных затылованных фрез, а на рис. 11.5, *б* стрелками указаны наиболее изнашиваемые участки фрез разных типов.

Восстановление режущих качеств фрез осуществляют переточкой режущих элементов на заточных станках. Для заточки торцовых фрез в сборе при их диаметрах от 80 до 1000 мм применяют станки-полуавтоматы мод. ЗБ667, ЗА667, 3669 и др., работающие абразивными и алмазными кругами. Станок ЗЭ667 позволяет вести

электрохимическую заточку фрез. Для заточки сегментных пил применяют полуавтоматы мод. 3693, 3692 и др. Фрезы обычных размеров затачивают на универсально-заточных станках мод. ЗА64 и др. Сборные фрезы перед заточкой можно шлифовать по цилиндрам и торцам на круглошлифовальных станках.

В ряде случаев ножи сборных фрез можно предварительно затачивать вне корпуса фрезы.

Затылованные фрезы (при желании сохранить их профиль) затачивают только по передней поверхности, а остроконечные — главным образом по задней. Затачивать затылованные фрезы, у которых передняя поверхность плоская, можно тарельчатым кругом (рис. 11.6, а). Заточку передней поверхности фрез с винтовым зубом (рис. 11.6, б) осуществляют конической поверхностью круга, чтобы не было «зареза» шлифуемой поверхности.

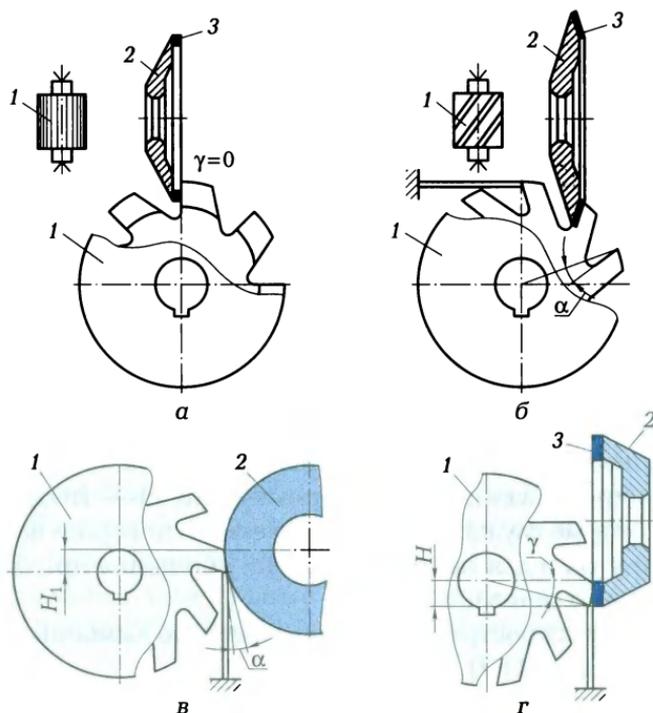


Рис. 11.6. Схемы заточки фрез по передней (а, б) и задней (в, г) поверхностям:

а — затылованной прямозубой; б — остроконечной с винтовым зубом; в — периферией круга; г — торцом чашечного круга; 1 — затачиваемая фреза; 2 — заточный инструмент; 3 — абразивный слой;  $H, H_1$  — смещения инструмента

По задней поверхности фрезы можно затачивать периферией круга (рис. 11.6, в) или торцом чашечного круга (рис. 11.6, г). Необходимое смещение  $H$  и  $H_1$  плоскости, в которой происходит заточка, относительно диаметральной плоскости фрезы определяется расчетом. Для шлифования по диаметру и торцу и для заточки быстрорежущих фрез служат круги из электрокорунда белого на керамической связке, а для доводки — круги из карбида кремния зеленого на бакелитовой связке.

Твердосплавные фрезы затачивают кругами из карбида кремния зеленого на керамической или бакелитовой связке, а доводят алмазными кругами. Разработаны стандартизированные конструкции кругов из синтетических алмазов для заточки и доводки фрез с вставными твердосплавными ножами по передним и задним плоским поверхностям, для заточки и доводки фрез с винтовым зубом и т. д.

Качество заточки определяется соблюдением заданных геометрических параметров, радиальным биением режущих кромок, шероховатостью передней и задней заточенных поверхностей, отсутствием микротрещин на твердосплавных режущих элементах.

## 11.4. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНАСТКА ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКОВ

---

Для закрепления заготовок на фрезерных станках применяют универсальные и специальные приспособления.

К **универсальным приспособлениям** относят прихваты, угольники, призмы, машинные тиски.

При обработке большого числа одинаковых заготовок изготавливают **специальные приспособления**, пригодные только для установки и закрепления этих заготовок на данном станке.

Важная принадлежность фрезерных станков — это делительные головки, которые служат для периодического поворота заготовок на требуемый угол и для непрерывного их вращения при фрезеровании винтовых канавок.

Наиболее распространены универсальные лимбовые делительные головки (рис. 11.7).

Делительная головка (рис. 11.7, а, б) состоит из корпуса 1, делительного диска 4, поворотного барабана 3 и шпинделя 6 с центром. В корпусе на шпинделе жестко закреплено червячное зубчатое колесо (обычно с числом зубьев 40), находящееся в зацеплении с однозаходным червяком. Вращение шпинделю сообщают рукояткой 2. Поворот рукоятки 2 и соответственно заготовки на требуемый угол

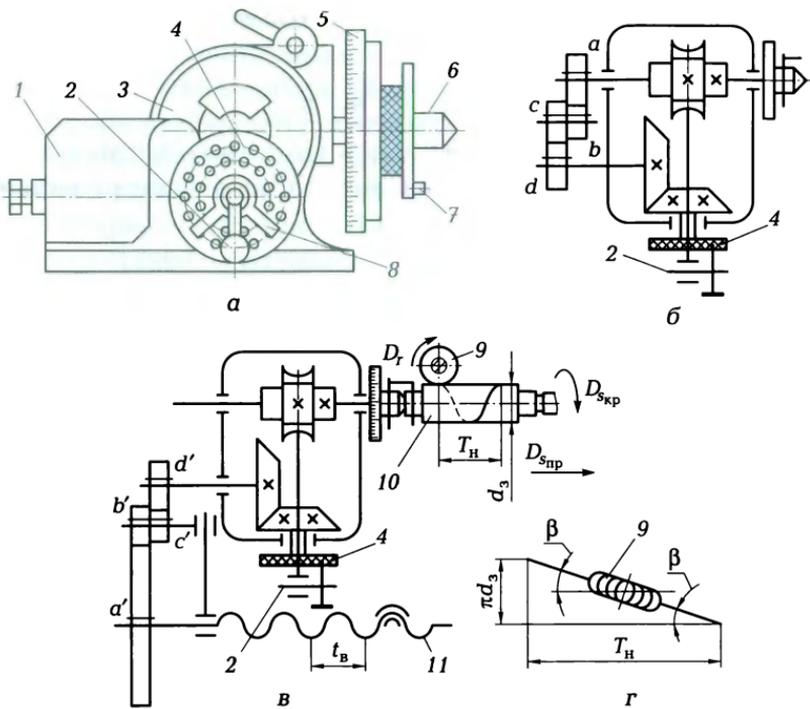


Рис. 11.7. Универсальная делительная головка, настроенная на дифференциальное деление:

*a* — компоновка головки; *б* — дифференциальное деление; *в* — настройка головки для фрезерования винтовых поверхностей; *г* — поворот стола с заготовкой на угол  $\beta$ : 1 — корпус; 2 — рукоятка; 3 — поворотный барабан; 4 — делительный диск; 5 — лимб; 6 — шпиндель с центром; 7 — поводок; 8 — раздвижной сектор; 9 — фреза; 10 — заготовка; 11 — ходовой винт станка; *a, b, c, d, a', b', c', d'* — сменные зубчатые колеса;  $T_H$  — шаг нарезаемой винтовой канавки;  $t_B$  — шаг ходового винта

осуществляют с помощью диска 4. Для удобства отсчета используют раздвижной сектор 8. На шпинделе 6 закреплен лимб 5 для непосредственного деления заготовки на части.

Универсальные делительные головки позволяют осуществлять деление непосредственным, простым и дифференциальным способами.

При *непосредственном способе деления* червяк выводят из зацепления с червячным колесом и поворачивают заготовку вращением лимба 5.

При *простом способе* деление проводят при закрепленном диске 4. Шпиндель 6 с заготовкой 10 поворачивают вращением рукоятки через включенную червячную передачу.

Частота вращения рукоятки  $n$ , необходимая для поворота заготовки на  $1/z$  часть оборота:

$$n = N/z = 40/z,$$

где  $N$  — характеристика делительной головки — число, обратное передаточному отношению червячной пары;  $z$  — число частей, на которое необходимо разделить заготовку.

Если  $z < 40$ , то  $40/z > 1$ ; тогда

$$40/z = A + a/b = A + ma/(mb),$$

где  $A$  — число целых оборотов рукоятки;  $a$  и  $b$  — числитель и знаменатель правильной простой дроби;  $m$  — общий множитель при  $a$  и  $b$ , который выбирают исходя из того, чтобы произведение  $mb$  представляло собой число отверстий, имеющихся на одной из окружностей диска 4; тогда  $ma$  — число отверстий на окружности диска, соответствующее дополнительной части поворота рукоятки.

*Дифференциальное деление* применяют в тех случаях, когда нельзя подобрать на диске окружность с требуемым числом отверстий для простого деления. При этом способе деления заготовку поворачивают на требуемый угол вращением рукоятки 2 относительно вращающегося делительного диска 4, который освобождается от стопора (на рис. 11.7 не показан) и получает вращение от шпинделя 6 через сменные зубчатые колеса  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  и коническую передачу  $i = 1$  (см. рис. 11.7, б).

При этом справедливо равенство

$$n = 40/z = n_1 + n_2,$$

где  $n_1$  — частота вращения рукоятки относительно делительного диска;  $n_2 = i \cdot 1/z$  — частота вращения диска, соответствующая повороту заготовки на  $1/z$  оборота ( $z$  — заданное число делений;  $i$  — передаточное отношение сменных зубчатых колес).

Частота вращения рукоятки

$$n = N/z_{\text{пр}},$$

где  $z_{\text{пр}}$  — приближенное число делений, близкое к заданному и позволяющее использовать способ простого деления.

Подставляя значения  $n$ ,  $n_1$  и  $n_2$  в формулу, приведенную ранее, получим

$$40/z = 40/z_{\text{пр}} + i \cdot 1/z$$

или

$$i = 40(z_{\text{пр}} - z)/z_{\text{пр}}.$$

Если  $z_{\text{пр}} > z$ , то передаточное отношение  $i$  будет положительным; если  $z_{\text{пр}} < z$ , то отрицательным. При положительном  $z$  направления вращения рукоятки и делительного диска совпадают, при отрицательном  $z$  они вращаются в противоположных направлениях.

Винтовые канавки фрезеруют при непрерывном вращении шпинделя  $b$  делительной головки, которое он получает от винта  $11$   $a', b', c', d'$  (рис. 11.7, в) продольной подачи стола универсально-фрезерного станка через гитару сменных зубчатых колес. Заготовку  $10$  устанавливают в центрах делительной головки и задней бабки. Заготовка получает два движения — вращательное  $D_{\text{ср}}$  и поступательное вдоль оси  $D_{\text{сп}}$ . Оба движения согласованы так, что при перемещении на шаг нарезаемой винтовой канавки заготовка делает один оборот.

Для получения винтовой канавки требуемого профиля стол станка с заготовкой поворачивают на угол наклона винтовой канавки

$$\beta = \text{arctg}(\pi d_3 / T_n),$$

где  $d_3$  — диаметр заготовки;  $T_n$  — шаг нарезаемой винтовой канавки.

Стол станка с заготовкой поворачивают на угол наклона винтовой канавки  $\beta$  для получения винтовой канавки требуемого профиля.

В качестве **вспомогательного инструмента** применяют фрезерные оправки для закрепления фрез и передачи крутящего момента от шпинделя станка на фрезу. Базой для закрепления фрезы на оправке может быть ее центровое отверстие или хвостовик (конический или цилиндрический). По способу закрепления в первом случае фрезы называют насадными, во втором — хвостовыми.

Короткие конические оправки используют для закрепления торцовых и дисковых фрез. Фрезы с коническим хвостовиком закрепляют в коническом отверстии шпинделя непосредственно или через переходные втулки. Фрезы с цилиндрическим хвостовиком закрепляют в цанговом патроне. Конический хвостовик патрона вставляют в шпиндель станка и закрепляют болтом.

## 11.5. СХЕМЫ ОБРАБОТКИ ЗАГОТОВОК НА ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКАХ

На рис. 11.8 показаны схемы обработки заготовок на станках фрезерной группы.

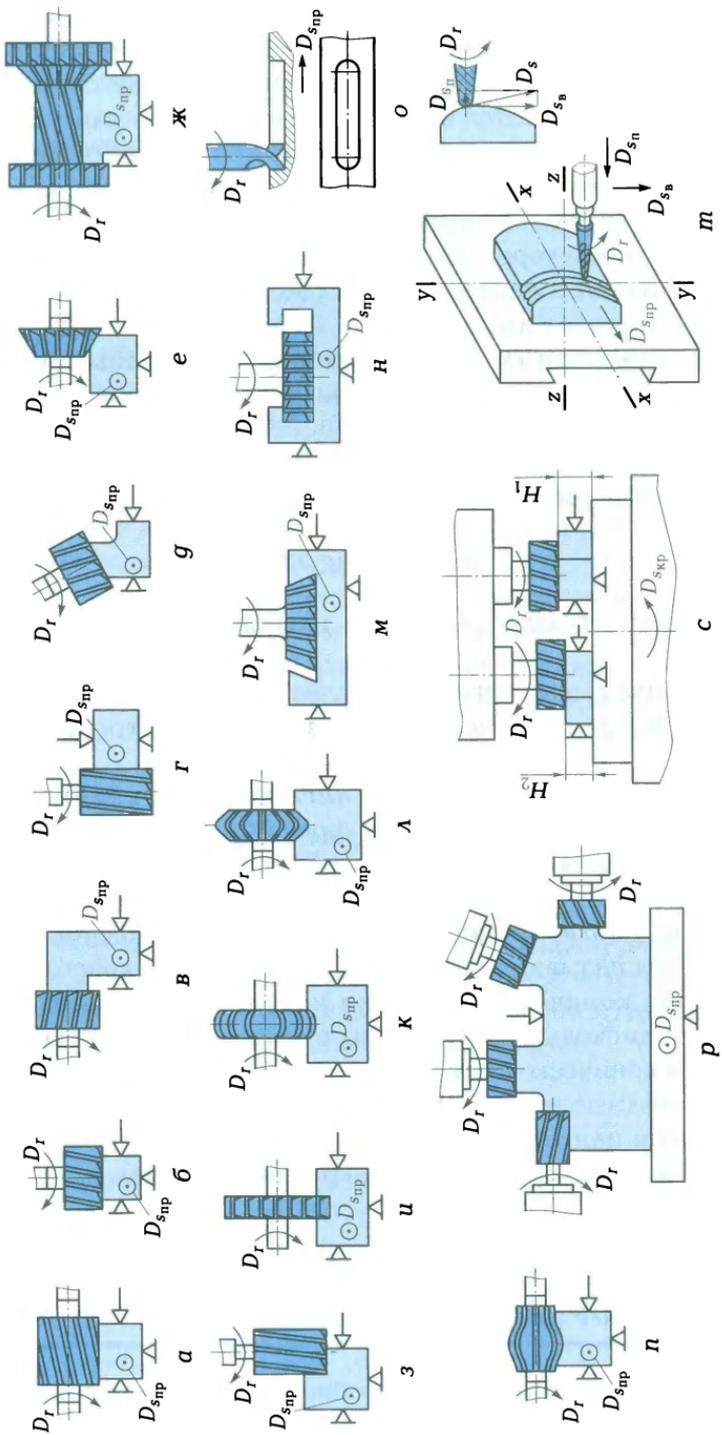


Рис. 11.8. Схемы обработки различных поверхностей заготовок на горизонтально- и вертикально-фрезерных станках ( $a-n$ ), продольно- и карусельно-фрезерных станках ( $p, c$ ) и копировально-фрезерных автоматах ( $m$ ):

$a, б$  — горизонтальных плоскостей;  $в, г$  — вертикальных плоскостей;  $г, е$  — наклонных плоскостей и скосов;  $ж$  — комбинированных поверхностей;  $з, и$  — уступов и прямоугольных пазов;  $к, л$  — фасонных пазов;  $м, н$  — клиновых пазов;  $о$  — шпоночных пазов;  $п$  — фасонных поверхностей;  $р, с$  — одновременная обработка нескольких поверхностей;  $H_1$  и  $H_2$  — размеры заготовки после первой и чистовой обработки соответственно;  $т$  — сложных поверхностей;  $\triangle$  — неподвижная опора;  $\llcorner$  — зажим

**Горизонтальные плоскости** фрезеруют на горизонтально-фрезерных станках цилиндрическими фрезами (рис. 11.8,  $a$ ) и на вертикально-фрезерных станках торцовыми фрезами (рис. 11.8,  $б$ ). Цилиндрическими фрезами целесообразно обрабатывать горизонтальные плоскости шириной до 120 мм. В большинстве случаев плоскости удобнее обрабатывать торцовыми фрезами вследствие большей жесткости их закрепления в шпинделе и более плавной работы, так как число одновременно работающих зубьев торцовой фрезы больше числа зубьев цилиндрической фрезы.

**Вертикальные плоскости** фрезеруют на горизонтально-фрезерных станках торцовыми фрезами (рис. 11.8,  $в$ ) и торцовыми фрезерными головками, а на вертикально-фрезерных станках концевыми фрезами (рис. 11.8,  $г$ ).

**Наклонные плоскости и скосы** фрезеруют торцовыми (рис. 11.8,  $г$ ) и концевыми фрезами на вертикально-фрезерных станках, у которых фрезерная головка со шпинделем поворачивается в вертикальной плоскости. Скосы фрезеруют на горизонтально-фрезерном станке одноугловой фрезой (рис. 11.8,  $е$ ).

**Комбинированные поверхности** фрезеруют набором фрез (рис. 11.8,  $ж$ ) на горизонтально-фрезерных станках. Точность взаиморасположения обработанных поверхностей зависит от жесткости крепления фрез по длине оправки. В этих целях применяют дополнительные опоры (подвески), избегают использования несоразмерных по диаметру фрез (рекомендуемое отношение диаметров фрез не более 1,5).

**Уступы и прямоугольные пазы** фрезеруют концевыми (рис. 11.8,  $з$ ) и дисковыми (рис. 11.8,  $и$ ) фрезами на вертикально- и горизонтально-фрезерных станках.

Уступы и пазы целесообразнее фрезеровать дисковыми фрезами, так как они имеют большее число зубьев и допускают работу с большими скоростями резания.

**Фасонные пазы** фрезеруют фасонной дисковой фрезой (рис. 11.8, к), угловые пазы — одноугловой и двухугловой (рис. 11.8, л) фрезами на горизонтально-фрезерных станках.

**Клиновой паз** фрезеруют на вертикально-фрезерном станке за два прохода: прямоугольный паз — концевой фрезой, затем скосы паза — одноугловой фрезой (рис. 11.8, м); Т-образные пазы (рис. 11.8, н), которые широко применяют в машиностроении как станочные пазы, например, на столах фрезерных станков, фрезеруют обычно за два прохода: вначале паз прямоугольного профиля — концевой фрезой, затем нижнюю часть паза — фрезой для Т-образных пазов.

**Шпоночные пазы** фрезеруют концевыми или шпоночными (рис. 11.8, о) фрезами на вертикально-фрезерных станках. Точность получения шпоночного паза — важное условие при фрезеровании, так как от нее зависит характер посадки на шпонку сопрягаемых с валом деталей. Фрезерование шпоночной фрезой обеспечивает получение более точного паза; при переточке по торцовым зубьям диаметр шпоночной фрезы практически не изменяется.

**Фасонные поверхности** незамкнутого контура с криволинейной образующей и прямолинейной направляющей фрезеруют на горизонтально- и вертикально-фрезерных станках фасонными фрезами соответствующего профиля (рис. 11.8, п).

Применение фасонных фрез эффективно при обработке узких и длинных фасонных поверхностей. Широкие профили обрабатывают набором фасонных фрез.

**Горизонтальные, вертикальные и наклонные плоскости и пазы** одновременно обрабатывают на продольно-фрезерных двухстоечных станках торцовыми и концевыми фрезами с движением продольной подачи стола, на котором в приспособлении закреплена корпусная заготовка (рис. 11.8, р).

**Горизонтальные плоскости по методу непрерывного фрезерования** обрабатывают на карусельно-фрезерных станках торцовыми фрезами (рис. 11.8, с). Заготовки устанавливают в приспособлениях, равномерно расположенных по окружности стола, и сообщают им движение круговой подачи  $D_{с.к.р.}$ . Заготовка сначала проходит черновую обработку (размер  $H_1$ ), а затем фрезой, установленной во втором шпинделе, заготовку обрабатывают окончательно (размер  $H_2$ ).

**Пространственно-сложные поверхности** обрабатывают на копировально-фрезерных полуавтоматах (рис. 11.8, т) специальной концевой фрезой. Фрезерование ведут по трем координатам:  $x$ ,  $y$ ,  $z$  (объемное фрезерование).

Фрезерование *цилиндрических зубчатых колес* на горизонтально- и вертикально-фрезерных станках подробно рассмотрено в гл. 10.

## **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

---

1. Какие работы можно выполнять на фрезерных станках, какие режимы резания при обработке на них?
2. Что такое попутное и встречное фрезерование, равномерное и неравномерное фрезерование?
3. Назовите типы фрез и геометрические параметры их режущих частей.
4. Назовите виды износа фрез.
5. Как осуществляется заточка фрез?

# ШЛИФОВАНИЕ И ОТДЕЛОЧНЫЕ ВИДЫ ОБРАБОТКИ

## 12.1. ШЛИФОВАНИЕ

### 12.1.1. Наружное круглое шлифование

**Шлифование** — процесс обработки металлов и неметаллических материалов абразивным инструментом, режущими элементами которого являются зерна абразивных материалов, связанные друг с другом связующим веществом. Шлифование обеспечивает высокую точность (до 6-го качества при обработке тел вращения) и  $Ra$  0,63 ... 0,04 мкм.

При обработке наружных и внутренних поверхностей различают предварительное, чистовое и тонкое шлифование.

Основные виды шлифования — это наружное круглое, бесцентровое наружное, внутреннее и плоское.

Наружное круглое шлифование в центрах применяют для обработки цилиндрических поверхностей. Основные методы наружного круглого шлифования — это шлифование с продольной подачей и шлифование с поперечной подачей.

**Шлифование с продольной подачей** (рис. 12.1, а). В этом случае шлифовальный круг 3 имеет два движения: вращательное вокруг оси главное движение  $D_r$  (скорость резания  $v_k$ ) и поступательное в направлении, перпендикулярном к оси обрабатываемой заготовки,  $D_{s_r}$  (поперечная подача  $s_r$ ). Заготовка 4 получает тоже два движения: вращательное  $D_{s_{кр}}$  вокруг оси со скоростью  $v_3$  и поступательное вдоль оси  $D_{s_{пр}}$  (продольная подача  $s_{пр}$ ).

Поперечную подачу  $s_r$  шлифовального круга на глубину резания (движение  $D_{s_r}$ ) осуществляют после возвращения заготовки в исходное положение.

**Шлифование с поперечной подачей круга** или методом врезания (рис. 12.1, б). Шлифовальный круг 3 (главное движение  $D_r$ )

и обрабатываемая заготовка 4 (движение  $D_{s_{кр}}$ ) имеют вращательное движение. Движение поперечной подачи  $D_{s_t}$  осуществляет шлифовальный круг 3 в поперечном направлении перпендикулярно к оси заготовки 4. Шлифовальный круг перекрывает всю длину обрабатываемой поверхности заготовки.

Шлифовальный круг вращается с окружной скоростью  $v_k = 25 \dots 30$  м/с. Заготовка, установленная в центрах передней и задней бабок или на оправке, вращается с окружной скоростью  $v_3 = 5 \dots 100$  м/мин или  $0,08 \dots 1,67$  м/с (обычно  $v_3 = 20 \dots 40$  м/мин или  $0,33 \dots 0,67$  м/с) в направлении, противоположном направлению вращения шлифовального круга.

Наружное круглое шлифование с продольной подачей заготовки применяют для шлифования заготовок значительной длины для снятия припуска  $0,15 \dots 1,15$  мм. Величину продольной подачи  $s_{пр}$  на один оборот изделия обычно берут в пределах  $0,2 \dots 0,9$  от ширины шлифовального круга. Глубина резания  $t$  или поперечная подача  $s_t$  измеряется в направлении, перпендикулярном к обрабатываемой поверхности, и представляет собой слой металла, снимаемый шлифовальным кругом за один продольный ход. При черновом шлифовании поперечная подача на один ход стола  $s_t = 0,01 \dots 0,025$  мм, а при чистовом  $s_t = 0,001 \dots 0,015$  мм.

Наряду с обычным круглым шлифованием применяют глубинное шлифование. При этом методе (круг правят на конус с углом скоса  $\varphi = 2^\circ$ ) весь припуск снимают за один или два прохода при увеличенной глубине резания ( $t = 0,1 \dots 0,4$  мм) и уменьшенной продольной подаче ( $s_{пр} = 1 \dots 6$  мм/об). Окружную скорость заготовки

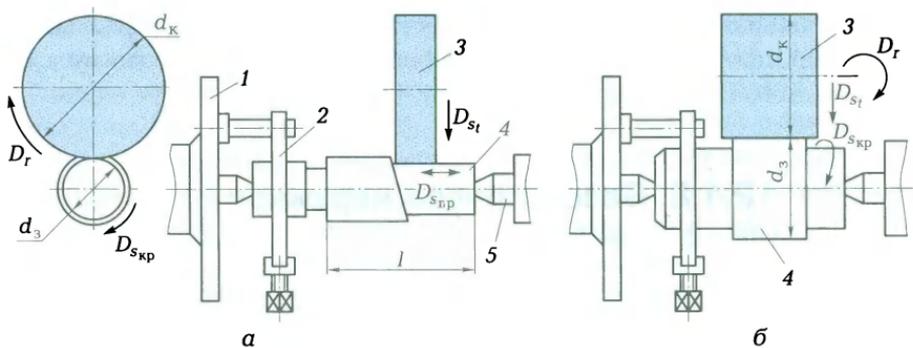


Рис. 12.1. Схемы наружного круглого шлифования с продольной (а) и поперечной (б) подачей:

1 — патрон; 2 — хомутик; 3 — шлифовальный круг; 4 — заготовка; 5 — центр;  $d_k, d_3$  — диаметр круга и заготовки соответственно;  $l$  — длина заготовки

выбирают в пределах  $v_3 = 40 \dots 55$  м/мин или  $0,67 \dots 0,92$  м/с. В ряде случаев применяют скоростное шлифование со скоростью шлифовального круга 50 м/с и более.

Для получения требуемой формы и качества поверхности осуществляют выхаживание — шлифование с дополнительными проходами без поперечной подачи до прекращения появления искр. Образование искр при выхаживании объясняется снятием упругих деформаций в технологической системе СПИД.

Шлифование с поперечной подачей заготовки осуществляют с радиальной подачей круга  $s_r = 0,0025 \dots 0,02$  мм/об на один оборот заготовки. Этот метод шлифования применяют при небольшой длине шлифуемой поверхности и проводят обычно на врезных круглошлифовальных станках, которые имеют одну или несколько шлифовальных бабок и на шпинделях которых закрепляют один или несколько шлифовальных кругов. При обработке уступов, буртиков и шеек на жестких заготовках небольшой длины применяют шлифование с поперечной подачей, с креплением заготовки в патроне.

Шлифование наружных конических поверхностей на универсальных шлифовальных станках осуществляют:

при обработке деталей с малым углом конуса (до  $\pm 6^\circ$ ) путем установки заготовки в центрах и поворота стола станка на угол так, чтобы образующая конической поверхности была параллельна первоначальному положению оси центров станка;

обработке коротких конусов с большим углом при вершине путем закрепления заготовки в патроне передней бабки и поворота передней бабки на угол, равный углу между осью и образующей конуса. На универсальных круглошлифовальных станках, кроме рабочего стола, вокруг вертикальной оси могут поворачиваться шлифовальная и передняя бабки. Некоторые модели универсальных круглошлифовальных станков снабжают приспособлениями для внутреннего шлифования.

### 12.1.2. Бесцентровое наружное шлифование

Бесцентровое наружное шлифование — более производительный метод обработки, чем круглое наружное шлифование в центрах или патроне. Процесс бесцентрового шлифования легче автоматизировать и осуществлять непрерывным потоком.

Жесткость технологической системы при бесцентровом шлифовании в 1,5–2 раза выше, чем при круглом шлифовании. Это по-

зволяет в 1,5–2 раза повысить режимы резания и вести обработку жестких валиков большой длины.

Однако при шлифовании в центрах цилиндрические поверхности имеют меньшие погрешности формы в поперечном и продольном сечениях, большую соосность ступеней обработанных валиков.

Бесцентровое шлифование можно осуществлять сквозной подачей (на проход), с продольной подачей до упора и поперечной подачей (врезанием).

Схема сквозного бесцентрового шлифования гладких цилиндрических поверхностей показана на рис. 12.2, а, б. Шлифуемое изделие находится между двумя кругами — рабочим 2 и ведущим 5, поддерживается опорным ножом 6, направляющими призмой 4 и роликами 1. Круги вращаются в одну сторону: окружная скорость ведущего круга  $v_{в.к} = 10 \dots 90$  м/мин или  $0,167 \dots 1,5$  м/с, а рабочего, осуществляющего процесс резания,  $v_k = 30 \dots 35$  м/с.

Ось ведущего круга наклонена к оси рабочего шлифовального круга под углом  $\alpha = 1 \dots 6^\circ$  при черновом шлифовании и  $0,5 \dots 1,5^\circ$  при чистовом. Это позволяет получить продольную подачу  $s_{пр}$  при шлифовании заготовок значительной длины. Скорость продольной подачи  $v_{пр}$ , м/мин, и скорость вращения заготовки  $v_3$ , м/мин, определяют по формулам

$$v_{пр} = \beta v_{в.к} \sin \alpha; v_3 = v_{в.к} \cos \alpha,$$

где  $\beta$  — коэффициент проскальзывания, обычно  $\beta = 0,8 \dots 0,9$ .

Ведущий круг касается шлифуемой заготовки по всей ширине круга, а не в одной точке. Ведущему кругу 5 правкой алмазом придают форму однополостного гиперболоида вращения, что обеспечивает контакт круга с заготовкой по линии. Чтобы представить форму гиперболоида, заменим круг моделью, состоящей из двух дисков 7, 8, между которыми натянуты гибкие нити КМ (рис. 12.2, в). Повернем диски в разные стороны в направлении стрелок на угол  $\alpha$  наклона оси ведущего круга к оси обрабатываемой поверхности (рис. 12.2, г). Образовавшаяся поверхность будет гиперболоидом вращения. Для получения у заготовки цилиндрической поверхности с образующей, совпадающей с направлением линии АВ, необходимо заправить алмазом круг 5 в форме гиперболоида.

Высокой точности при шлифовании на проход достигают несколькими переходами шлифования. Глубина резания находится в пределах  $0,04 \dots 0,4$  мм в зависимости от диаметра заготовки. При чистовом проходе глубина резания — обычно менее 0,05 мм. При шлифовании в один проход достигается точность 6—7-го квалитетов, а при шлифовании в 2—3 прохода — 6-го квалитета. При

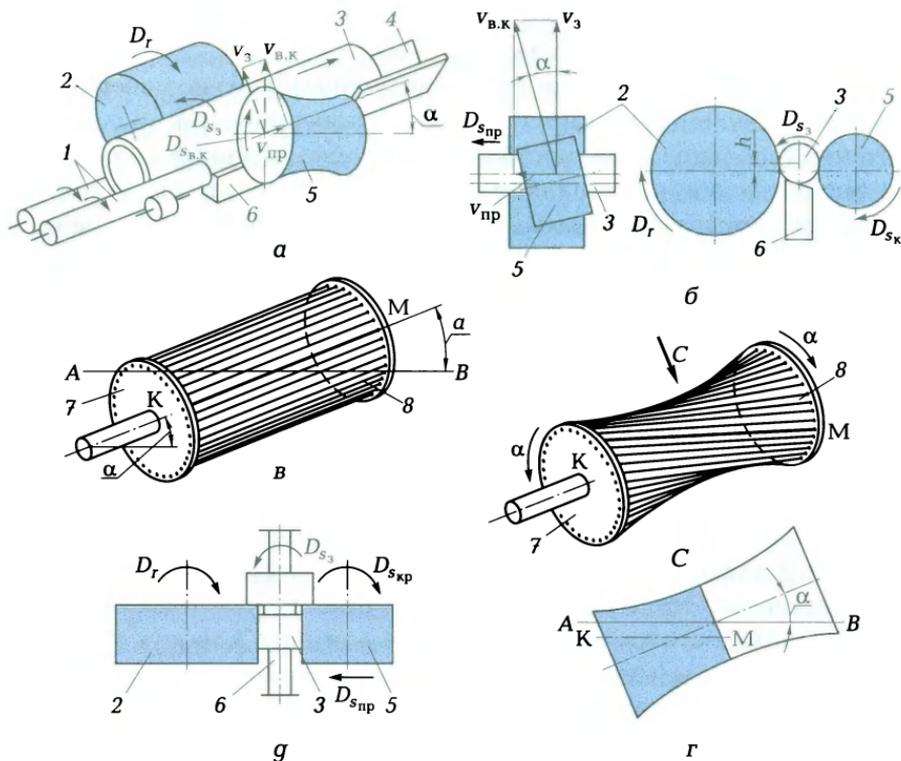


Рис. 12.2. Схемы бесцентрового шлифования:

*а, б* — с продольной подачей заготовки; *в, г* — модель гиперboloида и ведущего круга; *г* — с поперечной подачей круга: 1 — ролики; 2 — рабочий круг; 3 — заготовка; 4 — призма; 5 — ведущий круг; 6 — опорный нож; 7 и 8 — диски; КМ — гибкие нити; АВ — линия контакта ведущего круга и заготовки;  $\alpha$  — угол наклона оси ведущего круга

шлифовании заготовок малого диаметра и значительной длины необходимо увеличить число проходов, снижая при этом глубину резания. При шлифовании в несколько проходов в условиях массового производства применяют несколько станков, соединенных межстаночными транспортерами, обеспечивающими непрерывный поток заготовок между кругами от одного станка к другому.

Для полной автоматизации процесса шлифования применяют автоматические подналадчики, которые поддерживают постоянный размер диаметра шлифуемой заготовки.

Основную нагрузку по снятию припуска при бесцентровом шлифовании на проход выполняет передняя часть шлифующего круга, а на задней части круга происходит процесс выхаживания. Для повышения качества обрабатываемой поверхности иногда

применяют наладки, в которых вместо одного шлифующего круга высотой 150... 200 мм устанавливают на планшайбу два круга на некотором расстоянии друг от друга. Первый круг (крупнозернистый) служит для снятия припуска, второй круг (мелкозернистый) — для выхаживания. Применение наладок с несколькими шлифующими кругами (с широким кругом) сокращает число проходов почти пропорционально увеличению ширины круга.

Бесцентровое шлифование с поперечной подачей (рис. 12.2, *г*) применяют для обработки цилиндрических деталей с буртиками, ступенчатых валиков. Количество рабочих ходов при бесцентровом шлифовании с поперечной подачей меньше, чем при шлифовании на проход, так как при черновом проходе практически можно снимать заданный припуск значительной величины. Обработку до определенного размера осуществляют за счет сближения кругов. Длина обрабатываемой поверхности должна быть меньше ширины кругов. При шлифовании с поперечной подачей качество поверхности и точность обработки изменяются по мере износа шлифовального круга. Поэтому при высоких требованиях к точности и качеству поверхности шлифование проводят за несколько рабочих ходов.

Чистовые рабочие ходы осуществляют мелкозернистыми шлифовальными кругами, обладающими значительной стойкостью.

Шлифование конических и сферических поверхностей с поперечной подачей осуществляется профильным кругом, заправленным алмазом, соответственно по прямой или дуге с радиусом сферы.

### 12.1.3. Внутреннее шлифование

Внутреннее шлифование проводят шлифовальными кругами, внешний диаметр которых меньше внутреннего диаметра заготовки (рис. 12.3). Внутреннее шлифование осуществляют двумя способами: шлифование отверстия во вращающейся заготовке (рис. 12.3, *а*) и шлифование отверстия в неподвижной заготовке — планетарное шлифование (рис. 12.3, *б*).

Первый способ применяют в основном при обработке отверстий в заготовках относительно небольших размеров, имеющих форму тел вращения.

Второй способ используют при обработке заготовок, которые неудобно закреплять в патроне станка. В этом случае шлифовальный круг совершает три движения: вращательное движение вокруг своей оси  $D_r$ , круговое (планетарное) движение  $D_{с3}$  вокруг

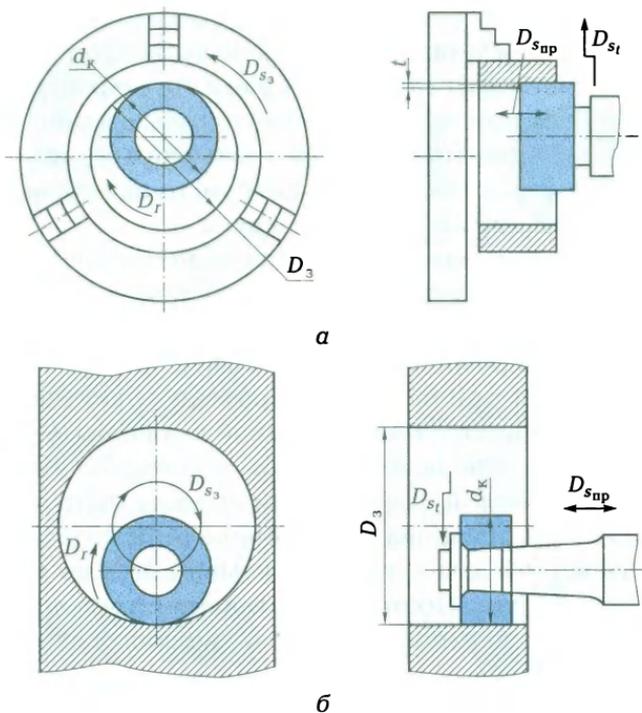


Рис. 12.3. Схемы цилиндрического внутреннего шлифования:

*a* — во вращающейся заготовке; *б* — в неподвижной заготовке;  $d_k$ ,  $D_3$  — диаметры круга и заготовки;  $t$  — глубина шлифования

оси отверстия заготовки и возвратно-поступательное движение (продольное)  $D_{s_{np}}$ . Скорость вращения вокруг оси отверстия заготовки представляет собой как бы скорость вращения заготовки  $v_3$ . Движение поперечной подачи  $D_{s_t}$  при внутреннем шлифовании осуществляется при движении стола станка.

Поперечную подачу  $s_t$  назначают на один двойной ход: при черновом шлифовании  $s_t = t = 0,005 \dots 0,03$  мм/дв. ход, а при чистовом  $s_t = 0,002 \dots 0,01$  мм/дв. ход. Продольную подачу  $s_{np}$  задают обычно в долях ширины круга  $s_{np} = (0,25 \dots 0,8)B$ . Диаметр шлифовального круга  $d_k$  выбирают в зависимости от диаметра шлифуемого отверстия:  $d_k = (0,75 \dots 0,95)D_3$ . Шлифование внутренних цилиндрических и конических поверхностей можно осуществлять на универсальных круглошлифовальных станках при помощи специальных головок, устанавливаемых на корпусе шлифовальной бабки. Шпиндель такой головки получает вращение с большой частотой вращения (до 80 тыс. об/мин и более). Шлифуемую заготовку крепят в шпинделе

передней бабки. Заготовка получает движение продольной подачи вместе со столом станка. Более высокой точности и производительности шлифования отверстий достигают на внутришлифовальных станках.

Современные внутришлифовальные станки обеспечивают точность обработки по округлости отверстия до  $0,3 \dots 0,4$  мкм и шероховатость поверхности до  $Ra\ 0,16 \dots 0,04$  мкм. Обычно на внутришлифовальных станках шлифуют отверстия, длина которых не превышает трех диаметров. При шлифовании отверстий с отношением их длины к диаметру более  $3 \dots 6$  необходимо подбирать соответствующие режимы обработки отверстия. Шлифовать отверстия можно как методом врезания, так и методом продольной подачи шлифовального круга. Шлифовальный круг и заготовка обычно вращаются в разные стороны.

Шлифование отверстий методом врезания с поперечной подачей шлифовального круга  $D_s$ , применяют в двух случаях:

для обработки фасонных поверхностей, когда невозможно осуществить продольное перемещение круга или заготовки и профиль шлифовального круга копируется на поверхности отверстия (рис. 12.4, а);

для обработки отверстий, имеющих прямолинейные образующие, когда возможно осуществить небольшие колебательные (осциллирующие) продольные перемещения круга или заготовки (рис. 12.4, б). Осциллирующие движения шлифовальной бабки или стола обеспечивают равномерный износ шлифовального круга по всей его ширине.

Основной метод работы на внутришлифовальных станках — это метод продольной подачи шлифовального круга или заготовки.

Шлифовальный круг не должен выходить из изделия на величину перебега большую, чем  $1/2 \dots 1/3$  своей ширины, чтобы избежать увеличения диаметра отверстия на концах, вследствие увеличения удельного давления резания при выходе круга из отверстия. Величина перебега в обе стороны должна быть одинаковой, чтобы обеспечить одинаковый размер отверстия по длине. Конические отверстия можно шлифовать тремя способами:

- поворотом передней шпиндельной бабки на необходимый угол и с продольной подачей шлифовального круга (рис. 12.4, в);
- шлифовальным кругом конической формы методом врезания (рис. 12.4, г);
- поворотом суппорта шлифовальной бабки на необходимый угол с продольной подачей суппорта (рис. 12.4, г, е).

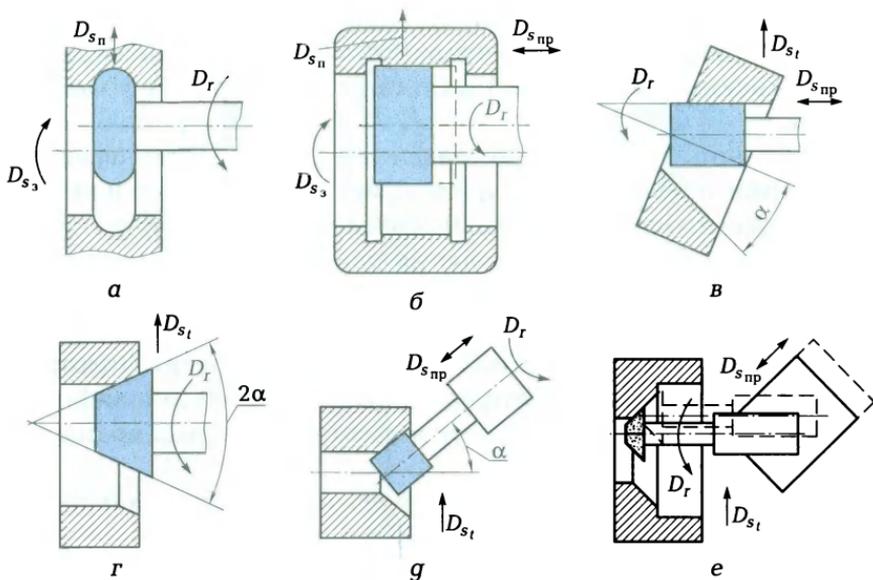


Рис. 12.4. Внутреннее шлифование фасонных (а), цилиндрических (б) и конических (в, г, д, е) поверхностей с поперечной (а, б, г) и продольной (в, д, е) подачами:

$\alpha$  — половина угла конуса

Чаще используют первый способ (см. рис. 12.4, в). Способом, показанным на рис. 12.4, г, пользуются, когда приходится в одной заготовке и за один установ шлифовать цилиндрические и конические отверстия. Станки для шлифования таких заготовок имеют обычно продольное перемещение стола вдоль оси цилиндрического отверстия, а также продольное перемещение второго суппорта параллельно образующей оси конического отверстия.

## 12.1.4. Плоское шлифование

Плоское шлифование — основной метод черновой и чистовой обработки плоскостей заготовок.

Существуют два способа плоского шлифования: шлифование периферией круга (рис. 12.5, а, в) на станках с прямоугольным и круглым столами; шлифование торцом круга (рис. 12.5, б, г) на станках с прямоугольным и круглым столами.

При шлифовании заготовок на прямоугольных столах заготовка совершает возвратно-поступательное движение  $D_{s_{np}}$  со скоростью  $v_3$ ,

а круг вращается со скоростью  $v_k$  и совершает движение поперечной подачи  $D_{st}$  в конце каждого продольного хода.

Шлифование заготовок на круглых столах осуществляют при вращении стола со скоростью  $v_3$  (движение  $D_{s_{kp}}$ ).

Для снятия всего припуска на обработку шлифовальный круг совершает движение вертикальной подачи  $D_{st}$  на глубину шлифования в конце каждого поперечного хода круга. При шлифовании

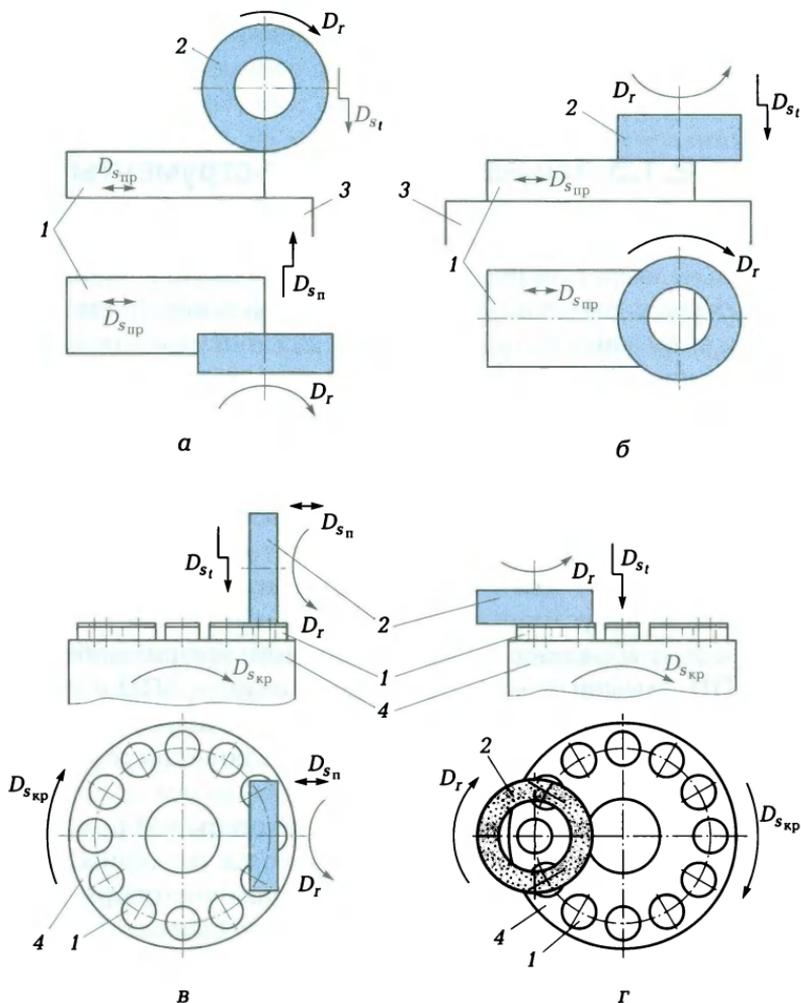


Рис. 12.5. Схемы плоского шлифования:

а, в — периферией круга; б, г — торцом круга; 1 — заготовка; 2 — шлифовальный круг; 3 — прямоугольный стол; 4 — круглый стол

периферией круга на прямоугольных столах скорость возвратно-поступательного движения ( $D_{s_{np}}$ ) —  $v_3$  составляет при черновом шлифовании 5...30 м/мин или 0,08...0,5 м/с, а при чистовом — 30...60 м/мин или 0,5...1 м/с, а на круглых столах окружная скорость стола (изделия) при черновом шлифовании составляет 4...220 м/мин или 0,07...3,67 м/с, при чистовом — 20...40 м/мин или 0,33...0,67 м/с. Вертикальную подачу  $s_t$ , определяющую глубину резания  $t$ , проводят периодически перед началом нового прохода. При черновом шлифовании на один рабочий ход  $t = 0,015...0,15$  мм, а при чистовом  $t = 0,005...0,015$  мм.

Величину поперечной подачи  $s_n$  (движение  $D_{s_n}$ ), назначают в долях ширины  $B$  круга  $s_n = (0,2...0,7)B$ .

### 12.1.5. Шлифовальные инструменты

Инструменты и материалы для алмазно-абразивной обработки имеют весьма широкую номенклатуру, поскольку применяются для различных видов шлифования, для обработки поверхностей разных размеров, различных материалов и т. д. Все они подразделяются на круги, головки, сегменты, бруски, ленты, листы, свободные зерна и пасты.

Особенно широко применяют в современном машиностроении круги. В табл. 12.1 приведены некоторые формы и размеры шлифовальных кругов из синтетических абразивных материалов — электрокорунда и карбида кремния, синтетических алмазов и др., а также из эльбора. Для отличия кругов из эльбора и алмаза от абразивных перед условным обозначением типа ставят еще одну букву. Так, круг абразивный плоский прямого профиля обозначают буквами ПП, алмазный — АПП, а эльборовый — ЛПП и т. д. Круги выпускают в виде различных тарелок, чашек, колец и т. д. Форма и размеры круга определяются видом шлифования и размерами обрабатываемой поверхности и станка.

Шлифовальные головки используют на станках и ручных шлифовальных машинах для обработки и зачистки различных поверхностей. Особенно широко эти головки применяют при работах, исключаящих использование шлифовального станка. Материал их режущей поверхности — это синтетические алмазы и абразивы. Примеры некоторых типов головок абразивных и алмазных приведены в табл. 12.2.

Шлифовальные сегменты различной формы (СП.1С, СП.2С и др.) выпускают и используют для изготовления сборных кругов,

имеющих металлический корпус и элементы для закрепления этих сегментов. Так, сегмент типа СП (плоский) имеет форму параллелепипеда со сторонами от  $45 \times 60 \times 20$  мм до  $150 \times 250 \times 55$  мм, а выпукло-плоский (типа ЗП) имеет размеры от  $110 \times 100 \times 40$  мм до  $380 \times 300 \times 250$  мм. Сборные круги из сегментов имеют прерывистую режущую поверхность, что повышает стойкость круга, производительность и качество обработки.

Бруски круглого, прямоугольного и других сечений применяют при слесарно-лекальных и отделочных станочных работах: хонинговании, суперфинишировании и др. Ленты используют для шлифования заготовок со сложными профилями (например, лопаток турбин), снятия заусенцев и для других работ.

Бесконечную ленту при обработке прижимают в нужном месте заготовки стороной, на которую нанесен слой абразивного порошка.

Обработку свободными, незакрепленными зёрнами ведут обычно в жидкой среде, часто с наложением вибраций, для очистки поверхностей, снятия заусенцев и других работ.

Пасты применяют при доводочных работах и полировании, нанося их на притир или полировальник, осуществляющий движение резания.

Характеристика шлифовального круга, кроме формы и размера, включает в себя вид абразивного материала, размер режущего зёрна или зернистость, твердость инструмента, структуру круга, материал связки, точность размеров, класс круга по неуравновешенности и ряд других показателей.

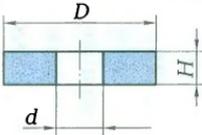
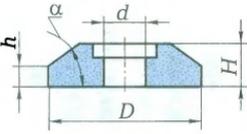
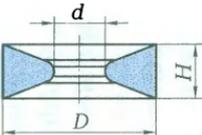
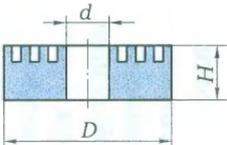
**Абразивные материалы** подразделяют на естественные и искусственные.

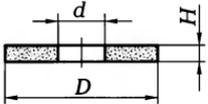
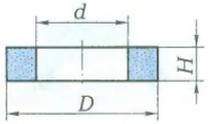
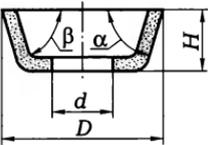
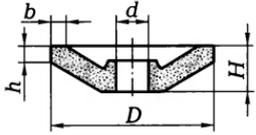
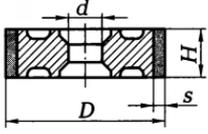
К **естественным абразивным материалам** относятся минералы — алмаз, корунд, наждак. В настоящее время их редко используют — заменяют искусственными материалами, как более качественными.

К **искусственным абразивным материалам** относят электрокорунд, монокорунд, карбид кремния, карбид бора, синтетический алмаз и эльбор.

**Электрокорунд** — искусственный корунд, представляющий собой кристаллический оксид алюминия  $Al_2O_3$ , получаемый плавкой бокситов в электропечах при высокой температуре ( $2000 \dots 2050$  °С). Различают электрокорунд нормальный (обозначается буквой Э); белый (ЭБ), хромистый (ЭХ). Электрокорунды применяют для обработки металлов с высоким пределом прочности на разрыв (стали, ковкого чугуна, твердой бронзы).

Таблица 12.1. Формы и размеры шлифовальных кругов

Тип и наименование круга	Эскиз сечения	Предельные размеры, мм	Область применения
ПП — плоские прямого профиля		$D = 3...1\ 060$ $H = 1...250$ $d = 1...305$	Шлифование круглое наружное, бесцентровое, плоское периферией круга. Зубо- и шлицешлифование. Заточка резцов
4П — плоские с малым углом конического профиля		$D = 80...500$ $H = 6...32$ $h = 2...5$ $\alpha = 15...35^\circ$ $d = 25...150$	Шлифование зубьев колес. Заточка пил и фрез
ПБК — плоские с двусторонней конической выточкой		$D = 750$ $H = 80$ $d = 305$	Круглое шлифование с подрезкой торца
ПР — плоские рифленые		$D = 500...1\ 340$ $H = 16$ $d = 51...250$	Обдирочное (реже — чистовое) плоское шлифование на специальных станках. Круги ПР применяют при опасности прижога и нагреве обрабатываемых заготовок

Д — диски		$D = 80...500$ $H = 0,6...4,0$ $d = 20; 32$	Отрезка, прорезание пазов
К — кольца		$D = 90...685$ $H = 50...150$ $d = 76...580$	Плоское шлифование торцом круга
ЧК — чашки конические		$D = 50...300$ $H = 25...150$ $\alpha = 50; 60; 70; 80^\circ$ $\beta = 45; 60; 65; 80^\circ$ $d = 15...10$	Заточка инструмента. Плоское шлифование (например, направляющих станков)
1Т — тарелки АПП, ЛПП		$D = 80...250$ $H = 8...25$ $h = 2...6$ $b = 4...13$ $d = 25...120$	Заточка и доводка передних поверхностей зубьев фрез
АПП, ЛПП — плоские прямого профиля		$D = 16...500$ $H = 3...50$ $d = 3...305$ $s = 2...5$	Круглое, наружное и внутреннее, плоское и бесцентровое шлифование, заточка инструментов

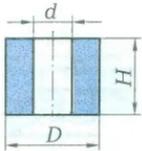
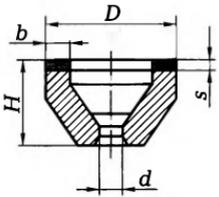
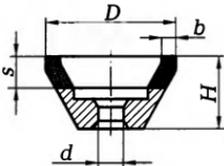
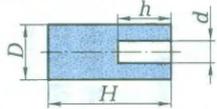
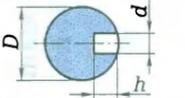
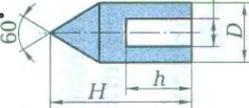
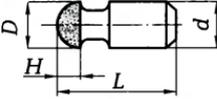
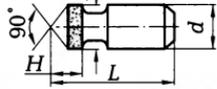
Тип и наименование круга	Эскиз сечения	Предельные размеры, мм	Область применения
А1ПП, Л1ПП — плоские (прямого профиля без корпуса)		$D = 3...17$ $H = 1...25$ $d = 1...6$	Внутреннее шлифование, доводка отверстий
АЧК, ЛЧК — чашечные		$D = 50...250$ $H = 20...52$ $s = 1,5...7$ $b = 2...20$ $d = 12...80$	Заточка инструментов по задней поверхности, шлифование некоторых деталей штампов (эльбором — шлифование направляющих станков)
А1Т, Л1Т — тарельчатые		$D = 50...150$ $H = 6...16$ $s = 1,5...3$ $b = 1...5$ $d = 15...150$	Заточка инструментов с прямым зубом и углом профиля канавки по передней поверхности до 45°, шлифование деталей штампов

Таблица 12.2. Типы головок

Тип и наименование головки	Эскиз сечения	Предельные размеры, мм	Область применения
ГЦ — цилиндрические		$D = 3...40$ $H = 6...60$ $d = 1...6$ $h = 2...12$	Шлифование и зачистка отверстий и профильных поверхностей
ГШ — шаровые		$D = 10...32$ $d = 4...13$ $h = 3...14$	Зачистка криволинейных поверхностей малого радиуса и сферических поверхностей
ГК — конические с углом конуса $60^\circ$		$D = 10; 20; 32$ $H = 25; 32; 50$ $d = 13; 16; 24$ $h = 12; 15; 23$	Зачистка центровых отверстий и конических поверхностей
АГЦ — цилиндрические		$D = 3...20$ $H = 3...20$ $d = 2...8$ $L = 40; 60; 80$	Шлифование и зачистка отверстий и профильных поверхностей
АГП — полушаровые		$D = 6...20$ $H = 6...14$ $d = 3...8$ $L = 40; 60; 80$	Шлифование и зачистка сферических и фасонных поверхностей
АГК — конические		$D = 6...20$ $H = 6...18$ $d = 3...8$ $L = 40; 60; 80$	Шлифование центровых отверстий и конических поверхностей

*Монокорунд* — это разновидность электрокорунда, получается в результате плавки боксита с сульфидом железа в электропечах. Зерна его состоят из отдельных кристаллов и их осколков. Микротвердость монокорунда не выше, чем электрокорунда, но прочность выше.

Монокорунд применяют для скоростного шлифования (при скорости круга до 50 м/с), для изготовления микропорошков, обеспечивающих шероховатость обработанной поверхности до  $Rz$  0,1 ... 0,05 мкм.

*Карбид кремния (карборунг)* — химическое соединение кремния и углерода SiC, полученное в электропечах при высокой температуре (1 800 ... 1 850 °С) плавкой кварцевого песка и материалов с высоким содержанием углерода (коксового порошка). Различают карбид кремния зеленый КЗ и черный КЧ. Карбид кремния имеет большую твердость, но меньшую вязкость и прочность по сравнению с электрокорундом.

*Зеленый карбид кремния* применяют при шлифовании твердых сплавов, заточке твердосплавных инструментов.

*Черный карбид кремния* применяют для обработки материалов с малым пределом прочности на разрыв (чугуна и медных сплавов, алюминиевых сплавов, мягкой бронзы, латуни и т.д.).

*Карбид бора* — химическое соединение бора с углеродом. Твердость карбида бора приближается к твердости алмаза, но он более хрупок. Карбид бора применяют в основном для доводочных работ.

*Синтетический алмаз* — одна из многочисленных модификаций углерода с определенным расположением атомов в кристаллической решетке.

*Эльбор (кубический нитрид бора)* имеет микротвердость (80 000 ... 100 000 МПа), соизмеримую с микротвердостью алмаза, и значительно превышает этот показатель у наиболее твердых абразивных материалов, например карбида бора (40 000 ... 45 000 МПа). Термостойкость эльбора (1 500 °С) в два с лишним раза выше термостойкости алмаза (700 ... 800 °С) и карбида бора (600 ... 700 °С). Высокие показатели эльбора по твердости и термостойкости обуславливают применение изготовленных из него инструментов для шлифования заготовок из труднообрабатываемых сталей и сплавов (коррозионно-стойких, жаропрочных и т.д.).

Номер зернистости абразивного материала предопределяет крупность зерен по их размерам (величина отверстия сита в сотых долях миллиметра). По размерной характеристике зерна абразивного материала, кроме алмазов, подразделяют на шлифзерно (номера

зернистости 200 – 16), шлифпорошки (номера зернистости 12 – 3), микропорошки (номера М40 – М5).

Крупнозернистые круги применяют для предварительного шлифования, для обработки мягких материалов (меди, латуни, алюминиевых сплавов и т. д.).

Шлифовальные зерна и порошки соединяют в одно целое (круги, бруски и т. д.) с помощью связующего вещества — **связки**. Связки бывают неорганические и органические.

К неорганическим связкам относятся керамическая К, силикатная С и магнезиальная М.

*Керамическая* основная связка применяется для изготовления кругов. Она не теряет своих свойств при шлифовании с охлаждением, устойчива при высоких температурах, но из-за малой упругости и большой хрупкости ее не рекомендуют применять для отрезки и прорезки узких пазов.

Керамическая связка состоит из глины, шпата, кварца, талька, корундовой пыли и т. д. Твердость шлифовального круга зависит от состава и процентного содержания отдельных компонентов. Силикатную и магнезиальную связки применяют, когда обрабатываемая поверхность чувствительна к повышению температуры при работе без охлаждения.

К органическим связкам относят бакелитовую Б и вулканитовую В.

Бакелитовая связка представляет собой смолу, полученную из фенола и формалина. Круги на бакелитовой связке обладают высокой прочностью и упругостью. Бакелитовые круги применяют при работе на высоких скоростях резания (свыше 35 м/с) без охлаждения.

Вулканитовая связка состоит из каучука, подверженного вулканизации. Абразивные круги на вулканитовой связке обладают высокой упругостью, но имеют низкую температуростойкость. Вулканитовые круги применяют в основном для отрезных, прорезных работ, резьбошлифования, бесцентрового шлифования (на рис. 12.2 ведущий круг из вулканита) и полирования.

Под твердостью абразивного инструмента подразумевают способность связки удерживать абразивные зерна в инструменте при воздействии на него внешних усилий. Твердость круга зависит от количества связки в нем и технологического процесса изготовления.

Твердость абразивного инструмента характеризуют и определяют по шкале твердости кругов: мягкий М, среднемягкий СМ, средний С, среднетвердый СТ, твердый Т, весьма твердый ВТ, чрезвычайно твердый ЧТ.

Для каждого конкретного случая обработки необходимо правильно выбирать твердость круга.

Слишком мягкий круг будет быстро осыпаться и терять свою форму и размеры. Выбор твердости круга зависит от многих факторов, из которых основные — это обрабатываемый материал, размеры детали, метод шлифования, режимы шлифования и характеристика круга. При шлифовании твердых материалов (закаленной стали, чугуна, твердых сплавов) применяют мягкие круги вследствие быстрого износа зерен.

При обработке мягких материалов зерна более медленно теряют свою режущую способность, поэтому круг может быть выбран более твердым. Чем мягче материал, тем тверже круг. Однако для обработки весьма мягких и вязких материалов (меди, алюминиевых сплавов, мягкой бронзы и латуни) следует выбирать более мягкие круги. В противном случае произойдет быстрое засаливание рабочей поверхности круга — появление металлического блеска на его поверхности, что свидетельствует о забивании пор круга и обволакивании режущих зерен частицами металла и СОЖ. Такой круг не режет металл и местами проскальзывает по поверхности заготовки.

При шлифовании прерывающихся или неровных поверхностей следует применять более твердые круги.

Тонкое чистовое шлифование проводят более мягкими кругами. При точном профильном шлифовании применяют круги повышенной твердости.

Структура абразивного инструмента характеризует строение абразивного инструмента в зависимости от количественного соотношения между зернами, связкой и порами в единице объема. Различной плотности расположения зерен достигают, изменяя давление при прессовании заготовок абразивных инструментов.

Различают три группы структур с 13 номерами инструментов: плотные (№ 0 — 3), среднеплотные (№ 4 — 6), открытые (№ 7 — 12).

Для плоского, внутреннего и круглого шлифования периферией круга рекомендуют применять круги среднеплотной структуры. Для фасонных работ желательно выбирать круг повышенной плотности. При шлифовании хрупких материалов применяют круги среднеплотной структуры.

Абразивный инструмент изготавливают различной формы, размеров и конструкций в зависимости от характера обработки, типа станка, формы и размеров обрабатываемой детали и т. д.

Алмазные круги широко используют для заточных, шлифовальных и доводочных операций при обработке твердосплавного

режущего и измерительного инструментов, деталей из твердых сплавов, стекла, керамики, кварца, ферритов, ситаллов и других труднообрабатываемых материалов.

Алмазные круги изготавливают не цельными, а состоящими из двух элементов: алмазоносного слоя и корпуса (без алмазов). Алмазоносный слой состоит из алмазных зерен, связки и наполнителя. По относительной концентрации алмазных зерен круги имеют пять разновидностей: с относительной концентрацией 25; 50; 100; 150 и 200 %.

За 100%-ную относительную концентрацию условно принято содержание 0,878 мг алмазоносного порошка в 1 мм<sup>3</sup> алмазоносного слоя. Зернистость алмазных порошков изменяется от размеров менее 1 мкм (АМ1) до 630 мкм (А50).

Для изготовления алмазных кругов используют две основные группы связок: органические (в основном бакелитовые) и металлические (в основном бронзовые). Реже применяют связки керамические, твердосплавные и электролитические (никель, хром, серебро).

Круги с металлической связкой применяют для предварительного шлифования заготовок из твердого сплава, стекла, керамики, ситаллов, заточки твердосплавного инструмента, а с органической связкой — для шлифования заготовок из хрупких материалов и доводочных работ. Зернистость алмазного круга определяется требованиями, предъявленными к шероховатости обрабатываемых поверхностей. Для получения шероховатости поверхности заготовок  $Ra$  0,63...0,32 мкм применяют круги зернистостью А5 – А6 для получения шероховатости поверхности  $Ra$  0,16...0,08 мкм — круги зернистостью АМ40 – АМ20.

### 12.1.6. Элементы режима резания при шлифовании

Основными элементами режима резания при шлифовании являются скорость главного движения резания, подача и глубина резания. Для рационального ведения процесса шлифования необходимо выбирать их оптимальные значения [8].

При круглом шлифовании (см. рис. 12.1) вращение шлифовального круга во время обработки является главным движением резания  $D_r$ , вращение заготовки — движением круговой подачи  $D_{s_{кр}}$ , поступательно-возвратное перемещение заготовки — движением продольной подачи  $D_{s_{np}}$  и прерывистое поступательное переме-

щение круга — движением подачи  $D_s$ , на врезание (движение  $D_s$ , осуществляется при крайних положениях заготовки).

При *плоском шлифовании* (см. рис. 12.5) вращение круга — главное движение резания  $D_r$ , возвратно-поступательное перемещение заготовки — движение продольной подачи  $D_{сп}$  и перемещение круга перпендикулярно обрабатываемой поверхности — движение подачи на врезание  $D_{s_1}$ .

Скорость резания  $v_k$ , м/с, при шлифовании равна окружной скорости шлифовального круга:

$$v_k = \frac{\pi d_k n_k}{1000 \cdot 60},$$

где  $d_k$ ,  $n_k$  — диаметр и частота вращения шлифовального круга соответственно.

При *круглом шлифовании* круговая подача  $s_{кр}$  равна окружной скорости заготовки  $v_3$ , м/мин, на наружном диаметре

$$s_{кр} = v_3 = \frac{\pi d_3 n_3}{1000},$$

где  $d_3$ ,  $n_3$  — диаметр и частота вращения заготовки соответственно.

При *круглом шлифовании* продольная подача  $s_{пр}$ , мм/об, равна величине перемещения шлифуемой заготовки вдоль оси за один оборот, а при *плоском шлифовании* подача  $s_{кр}$ , м/мин, равна скорости возвратно-поступательного перемещения стола станка.

При *плоском шлифовании* поперечная подача  $s_{пн}$ , мм/дв. ход (мм/ход), равна величине перемещения заготовки или круга параллельно оси вращения круга.

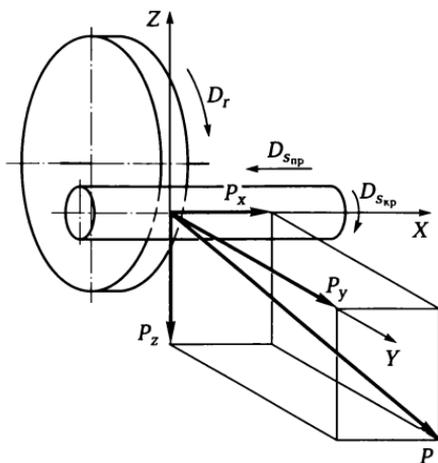
Глубина резания  $t$ , мм, равна толщине слоя металла, срезаемого шлифовальным кругом за один проход, зависит от величины подачи круга на глубину резания  $s_1$ .

Оптимальные значения элементов резания определяют по нормативным материалам. Продольную подачу  $s_{пр}$  при *круглом шлифовании* выбирают в зависимости от ширины шлифовального круга  $B_k$ , обычно  $s_{пр} = (0,2 \dots 0,85) B_k$ .

Силу резания  $P$  при шлифовании, как и при лезвийной обработке, можно разложить по координатным осям (рис. 12.6) на три составляющие: тангенциальную (главная сила резания)  $P_z$ , радиальную  $P_y$  и осевую  $P_x$ .

Составляющую силы резания  $P_z$  используют при определении мощности электродвигателей, приводящих во вращение шлифовальный круг и заготовку, составляющую  $P_y$  — при расчете точности

Рис. 12.6. Силы резания при шлифовании



обработки, составляющую  $P_x$  — при проектировании механизмов подач шлифовальных станков. Осевая составляющая  $P_x$  силы резания имеет незначительную величину, поэтому при расчете режимов резания ее не учитывают.

Силы резания находят по справочнику [8] в зависимости от конкретных условий (свойства материалов заготовки и инструмента, режимы резания, температура, применяемая СОЖ и другие технологические условия) или рассчитывают по следующим формулам:

$$P_z = C_{P_z} v_3^a s_{\text{сп}}^b t^c;$$

$$P_y = (1,5 \dots 3,0) P_z,$$

где  $C_{P_z}$  — эмпирический коэффициент;  $a$ ,  $b$ ,  $c$  — показатели степени.

Значение силы резания сразу после правки круга невелико, но при затуплении зерен шлифовального круга увеличивается до 15 раз.

Мощность электродвигателя  $N_k$ , кВт, приводящего во вращение шлифовальный круг:

$$N_k = P_z v_k / (1\,000 \cdot 60 \eta_k).$$

Мощность электродвигателя  $N_3$ , кВт, приводящего во вращение заготовку:

$$N_3 = P_z v_3 / (1\,000 \cdot 60 \eta_3),$$

где  $\eta_k$ ,  $\eta_3$  — КПД кинематических цепей передачи вращения кругу и заготовке соответственно.

### 12.1.7. Изнашивание, правка и балансировка кругов

Шлифовальный круг подвержен *изнашиванию*, как любой режущий инструмент: при работе происходит осыпание его кромок, выработка наиболее нагруженной зоны режущей поверхности, затупление режущих (скоблящих) граней отдельных зерен и закаливание — забивание пор отходами шлифования (стружкой, твердыми частицами, СОЖ и т.д.). Изнашивание круга протекает в условиях периодического силового и теплового воздействия на его зерна и приводит к потере кругом как режущей способности, так и возможности обрабатывать с необходимой точностью и качеством поверхностный слой заготовки.

При правильном подборе характеристик круга происходит его самозатачивание во время работы: зерна, не способные выполнять полезную работу шлифования, скалываются или вырываются с поверхности круга, позволяя вступать в работу новым зернам или новым граням зерен. Однако полное самозатачивание практически неосуществимо ввиду переменных свойств отдельных участков круга и непостоянных условий резания такими участками. В силу этого проводят так называемую правку круга, т.е. восстанавливают его первоначальную форму и режущую способность.

Период работы круга от одной правки до другой соответствует его стойкости, которая в различных условиях шлифования обычно находится в пределах 5...60 мин. Критериями износа круга могут быть такие показатели, как увеличение шероховатости обработанной поверхности, возрастание сил и температуры резания, снижение точности размера заготовки, потеря формы обработанной поверхности по окружности и образующей, появление значительных вибраций и прижогов поверхности и т.д.

*Правку* абразивных кругов осуществляют, снимая отработавший слой толщиной 0,05...0,07 мм различными способами: шлифуя кругами из зеленого карбида кремния (64С, 63С) или алмазно-металлическими роликами; обтачивая алмазными карандашами, иглами, зернами (рис. 12.7). Применяют также выдавливание поверхностного слоя круга, обкатывая его дисками или роликами из твердого сплава, абразива, алмаза для восстановления режущей способности круга при черновых операциях шлифования.

Правку выполняют за 2–4 прохода, при каждом из которых при продольной подаче от 0,05 до 1,50 м/мин можно снимать слой толщиной от 0,005 до 0,040 мм. На станках-автоматах правку осуществ-

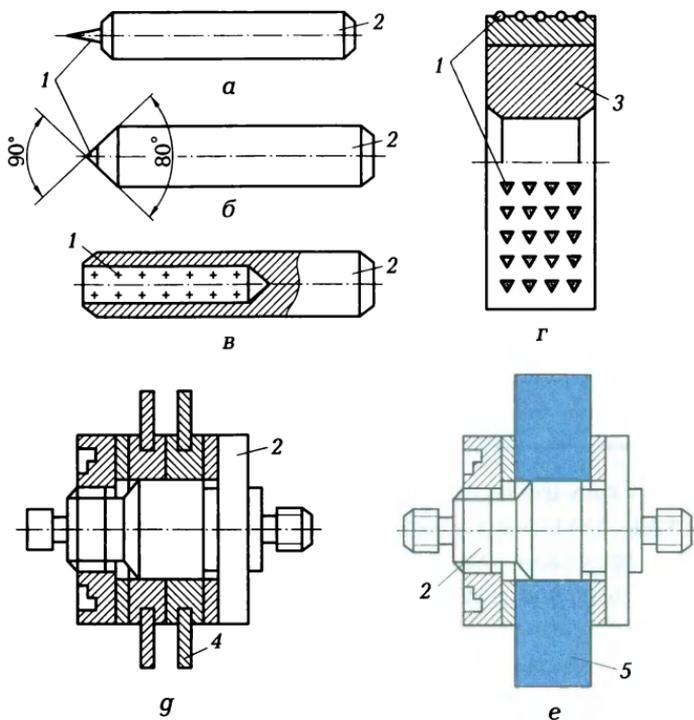


Рис. 12.7. Инструменты для правки абразивных кругов:

*а* — алмазная игла (для резбовых кругов); *б* — зерно алмаза в оправке; *в* — алмазный карандаш; *г* — алмазный ролик; *д* — правящие диски на оправке; *е* — правящий абразивный круг на оправке: 1 — алмаз; 2 — оправка; 3 — корпус круга; 4 — твердосплавные диски; 5 — абразивный круг

входят без вмешательства рабочего после обработки определенного количества заготовок.

Правку алмазных кругов проводят значительно реже, используя абразивные бруски или круги для обтачивания, шлифования и обкатывания, а также такие технологические методы, как электрохимическую обработку, доводку свободным абразивом и т. д. (рис. 12.8). Качество правки кругов зависит от тщательности соблюдения технологических рекомендаций по режиму и инструменту для правки, а состояние режущей поверхности круга в свою очередь определяет качество шлифования и эффективность использования кругов, оцениваемую удельным износом.

Как уже отмечалось, в процессе работы круг изнашивается, поры его забивают частицы СОЖ и металла, он пропитывается жидкостью и т. д. Дисбалансы круга в процессе его изготовления, монтажа на станок и эксплуатации приводят к тому, что сумма моментов

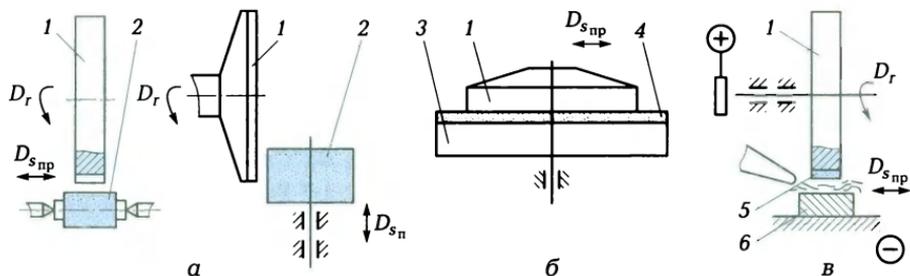


Рис. 12.8. Схемы правки алмазных кругов:

*a* — абразивным кругом; *б* — свободным абразивом; *в* — электрохимическая правка: 1 — затачиваемые алмазные круги; 2 — абразивные круги; 3 — чугунный притир с бортиком; 4 — абразив; 5 — электролит или рабочая среда; 6 — электрод-инструмент

и сумма всех сил относительно центра масс круга всегда отличаются от нуля. Другими словами, всегда есть некоторый дисбаланс в виде силы (силовая или статическая неуравновешенность) либо момента (моментная неуравновешенность). Чаще присутствуют оба фактора, обуславливающие динамическую (моментно-силовую) неуравновешенность.

Неуравновешенность шлифовального круга приводит к вредным вибрациям, ухудшению качества обработки и т.д. Принимают разные меры для снижения дисбалансов: механическую обработку

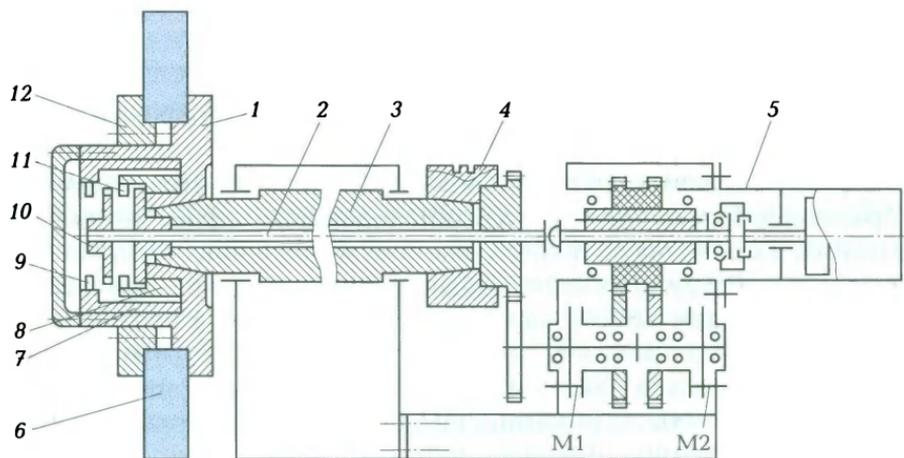


Рис. 12.9. Автоматическое балансирующее устройство:

1 и 12 — фланцы; 2 — шток; 3 — шпиндель; 4 — шкив; 5 — гидроцилиндр; 6 — шлифовальный круг; 7 и 8 — кольцевые корректирующие массы; 9 и 11 — собачки; 10 — звездочки; M1, M2 — муфты

круга, **балансировку круга** с фланцами до установки на шпиндель станка или на самом шпинделе сухарями (корректирующими массами), перемещающимися в кольцевом пазу фланца, и т.д. Наиболее эффективное средство — это применение автоматических балансирующих устройств (АБУ), одна из отечественных конструкций которого приведена на рис. 12.9. Для узкого шлифовального круга (толщина  $H < 0,3d$ ) достаточно устранить силовую (статическую) неуравновешенность, что осуществляется поочередным перемещением относительно оси кольцевых корректирующих масс 7 и 8 в позицию, уравнивающую вектор дисбаланса круга  $D_k + D_7 + D_8 = 0$ .

Шлифовальный круг 6 устанавливается между двумя фланцами 1 и 12 на шпиндель 3, приводимый во вращение от шкива 4. Внутри шпинделя проходит шток 2, который может занимать три позиции вдоль оси: левую, нейтральную (на рисунке) и правую. При этом звездочка 10 входит в зацепление либо с собачкой 9, либо с собачкой 11 кольцевых корректирующих масс 7 и 8, либо занимает среднее положение, при котором звездочка не сцеплена с собачками. От зубчатого колеса на правом конце шпинделя вращение передается редуктору с двумя муфтами М1 и М2. Передаточные числа зубчатых колес подобраны так, что при включении муфты М1 шток 2 вращается с частотой выше, чем у круга 6, а при включении муфты М2 — ниже, чем у круга. Это дает возможность поворачивать каждую корректирующую массу относительно оси в обе стороны. Манипулируя перемещением обеих масс, по вибродатчику определяют их положение, соответствующее наименьшим колебаниям шлифовальной бабки. Этот же датчик управляет автоматической системой, переключающей муфты и гидроцилиндр 5.

АБУ позволяет непрерывно уравнивать круг 6 на ходу без его снятия и предварительной балансировки вне станка.

## 12.2. ОТДЕЛОЧНЫЕ И ДОВОДОЧНЫЕ ВИДЫ ОБРАБОТКИ

---

### 12.2.1. Тонкое алмазное точение и растачивание

Отделочные и доводочные виды обработки позволяют получить высокую точность формы и размеров деталей (отклонение от плоскостности и овальности до 0,001 ... 0,003 мм), высокое качество поверхностного слоя и шероховатость поверхности от  $Ra$  0,32 до  $Rz$

0,05 мкм или одновременно достичь этих требований к точности поверхности и ее качеству. Точение алмазными резцами применяют для обработки деталей из цветных металлов и их сплавов (алюминия и его сплавов, магниевых сплавов, бронзы, латуни, меди, баббита, титановых сплавов) и неметаллических материалов (твердой резины, эбонита, пластмасс), обладающих высокими абразивными свойствами.

Токарную обработку алмазными резцами применяют:

для декоративного точения с целью получить шероховатость цилиндрических, конических и торцовых поверхностей от  $Ra\ 0,16$  до  $Rz\ 0,1$  мкм (декоративное точение заменяет процесс полирования);

тонкого точения и растачивания на токарных станках с целью получить точные цилиндрические и конические поверхности (отклонение от правильной геометрической формы в продольном и поперечном сечениях до 0,003...0,005 мм при качестве поверхности  $Ra\ 0,32$ ...0,16 мкм);

тонкого растачивания на расточных станках с целью получить точные отверстия (точность — 6-й квалитет, качество поверхности  $Ra\ 0,32$ ...0,16 мкм). Стойкость алмазных резцов в десятки и сотни раз превышает стойкость инструментов из других материалов. Алмазное точение проводят на высоких скоростях резания в сочетании с малыми величинами подачи и глубины резания. Наивысшее качество поверхности обеспечивают при малых подачах (порядка 0,02...0,04 мм). При увеличении подачи до 0,1 мм шероховатость поверхности ухудшается в четыре раза. Глубина резания в пределах 0,025...0,15 мм незначительно влияет на шероховатость поверхности.

Обработку металлов и их сплавов проводят при подаче  $s = 0,005$ ...0,1 мм/об, глубине резания  $t = 0,01$ ...0,4 мм и скорости резания  $v = 100$ ...1 000 м/мин или 1,67...16,7 м/с.

Если обрабатывают прерывистую поверхность, то глубину резания назначают не более 0,02...0,03 мм вследствие повышенной хрупкости алмаза при динамических нагрузках.

Станки для алмазной обработки (токарные, алмазно-расточные) должны быть жесткими, точными, высокоскоростными, с хорошо отбалансированными вращающимися деталями с кинематикой, обеспечивающей высокую частоту вращения шпинделя (до 4 000 об/мин) и небольшие значения продольной подачи  $s_{np} = 0,005$ ...0,1 мм/об. Допустимо радиальное биение шпинделя станка не более 0,005 мм. Станок устанавливают на отдельном фундаменте, двигатель и насос — на эластичных прокладках отдельно от станины станка (чтобы устранить влияние вибрации на работу станка).

## 12.2.2. Алмазное выглаживание

Алмазное выглаживание значительно (в 4–8 раз) снижает шероховатость обработанной поверхности и повышает точность геометрической формы. Для достижения качества поверхности от  $Ra$  0,4 до  $Rz$  0,1 мкм исходная шероховатость поверхности до выглаживания должна быть  $Ra$  0,63...0,04 мкм.

Рабочую или выглаживающую часть резца выполняют сферической или цилиндрической формы и ориентируют так, чтобы при огранке кристалла алмаза отход его был наименьшим.

При выглаживании рабочая часть алмаза контактирует под давлением с вращающейся заготовкой при поступательном перемещении алмазного резца, происходит сжатие и пластическое деформирование поверхностного слоя металла заготовки.

При выглаживании заготовок из незакаленной стали и цветных металлов алмазный инструмент имеет радиус сферы при вершине  $R = 3 \dots 3,5$  мм, а при выглаживании заготовок из закаленной стали  $R = 1,2$  мм.

Скорость выглаживания выбирают, исходя из условий спокойной (без вибраций) работы станка. Станок должен иметь повышенную точность и жесткость, обеспечивающие плавность рабочей подачи. Наиболее целесообразные величины подач находятся в диапазоне 0,05...0,1 мм/об. Чем меньше подача, тем выше качество обработанной поверхности. Усилие выглаживания обычно не превышает 150...160 Н.

Размеры заготовок после выглаживания уменьшаются незначительно: на 1...3 мкм по диаметру заготовки. Степень упрочнения поверхности слоя колеблется от 1,5 до 2,5. Упрочнение поверхностного слоя заготовки способствует повышению долговечности детали.

Выглаживание заготовок из всех вязких металлов, включая нержавеющую сталь, медь, алюминий, латунь, дает блестящую зеркальную поверхность.

Выглаживание заготовок из титановых сплавов и циркония дает отрицательные результаты по качеству поверхности в связи с налипанием их частиц на алмаз.

## 12.2.3. Тонкое шлифование

Тонкое шлифование обеспечивает обработку поверхности от  $Ra$  0,16 до  $Rz$  0,1 мкм и осуществляется на круглошлифовальных, внутришлифовальных и плоскошлифовальных станках абразив-

ными и алмазными шлифовальными кругами. Тонкое шлифование наружных и внутренних поверхностей вращения обеспечивает 6-й квалитет и выше. Особенности тонкого шлифования — это тщательная подготовка станка к работе и правка шлифовального круга.

Станок для тонкого шлифования должен иметь высокую жесткость и точность. Абразивные шлифовальные круги правят только алмазом или алмазными карандашами, чтобы высота и шаг неровностей на рабочей поверхности круга были минимальными. Для получения качества поверхности  $Ra\ 0,16$  мкм методом тонкого шлифования необходимо обращать внимание на чистоту охлаждающей жидкости, применяя для очистки охлаждающей жидкости центрифугу или другие средства.

Тонкое шлифование углеродистых сталей осуществляют кругами из белого электрокорунда, а нержавеющей и жаропрочных сталей — кругами из монокорунда (круги зернистостью 40—12, твердостью СМ1—СМ2 на керамической связке).

Для доводочного (тонкого) шлифования твердых сплавов до  $Ra\ 0,16 \dots 0,08$  мкм рекомендуют применять алмазные круги АМ40—АМ14 и от  $Ra\ 0,04$  до  $Rz\ 0,1$  мкм — круги АМ10 с 25...50%-ной относительной концентрацией алмазов в кругах на бакелитовой связке (Б1, Б2, Б3).

Режимы тонкого шлифования керамики, твердых сплавов, ситаллов для получения  $Ra\ 0,16$  мкм (и качественнее) алмазными кругами зернистостью АМ40—АМ5 и с 25...50%-ной относительной концентрацией алмазов на бакелитовой связке Б1 должны быть следующими: глубина шлифования 0,005...0,025 мм, скорость круга 10...30 м/мин или 0,17...0,5 м/с;

- для плоского шлифования: продольная подача 1...2 м/мин, поперечная подача до 0,3 мм/ход;
- для круглого наружного шлифования: скорость вращения заготовки 10...30 м/мин или 0,17...0,5 м/с, продольная подача 0,3...0,5 м/мин, или 0,005...0,008 м/с;
- для внутреннего шлифования: скорость вращения заготовки 20...50 м/мин или 0,33...0,83 м/с; продольная подача до 0,5 м/мин или 0,008 м/с.

Тонкое внутреннее шлифование осуществляют высокоскоростными внутришлифовальными головками с частотой вращения 48 000...144 000 об/мин.

При плоском и круглом тонком шлифовании после нескольких рабочих ходов с поперечной подачей на глубину проводят от четырех до десяти рабочих ходов без подачи (выхаживание).

## 12.2.4. Суперфиниширование

*Суперфиниширование* — это процесс отделочной обработки мелкозернистыми колеблющимися брусками в сочетании с вращательными и возвратно-поступательными движениями. Суперфиниширование обеспечивает обработку наружных и внутренних цилиндрических поверхностей, конических и плоских поверхностей от  $Ra\ 0,04$  до  $Rz\ 0,1$  мкм. Суперфиниширование частично исправляет погрешности формы обрабатываемой поверхности.

При суперфинишировании (рис. 12.10) цилиндрических поверхностей рабочее движение брусков 2 относительно вращающейся обрабатываемой заготовки 1 складывается из трех движений: коротких осциллирующих движений  $D_{soc}$  (от 500 до 2000 двойных ходов в минуту) с величиной хода в пределах 1,5...6 мм, вращения заготовки  $D_r$  и возвратно-поступательного движения головки 5 с брусками вдоль обрабатываемой поверхности  $D_{snp}$  (это движение совершает либо головка, либо обрабатываемая заготовка).

Бруски поджимают к вращающейся обрабатываемой заготовке с малыми удельными давлениями от 0,1 до 0,5 МПа (тарированные пружины 3 прилагают к брускам 2 усилия  $P$ ).

Процесс ведут с применением СОЖ малой вязкости (керосина или керосина с добавкой 10 % веретенного масла), обеспечивающей очистку абразивных брусков от отходов и охлаждение. Снятие

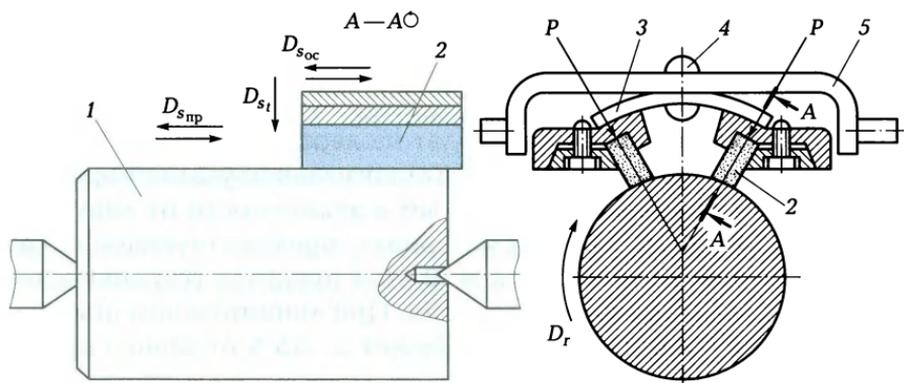


Рис. 12.10. Схема суперфиниширования наружной цилиндрической поверхности:

1 — заготовка; 2 — брусок; 3 — тарированная пружина; 4 — заклепка; 5 — головка;  $P$  — усилие давления на брусок

металла происходит в пределах микронеровностей (гребешков) поверхности, оставшихся от предыдущей обработки.

В процессе обработки происходит интенсивное срезание вершин гребешков.

Толщина слоя металла, снимаемого при суперфинишировании, обычно не превышает 0,005... 0,01 мм.

Суперфиниширование осуществляется на токарных или специальных станках.

## 12.2.5. Хонингование

Хонингованием обрабатывают в основном цилиндрические отверстия как сквозные, так и глухие диаметром 2 мм и выше с отклонением от цилиндричности поверхности до 0,002... 0,005 мм и с качеством поверхности  $Ra$  0,63... 0,08 мкм в заготовках из стали, чугуна, цветных металлов и труднообрабатываемых материалов. Процесс хонингования (рис. 12.11, а) осуществляют мелкозернистыми абразивными брусками 4, закрепленными в специальной раздвижной головке, являющейся рабочей частью хона. Радиальное рабочее движение бруску 4 передается от механизма разжима хонинговального станка посредством осевого перемещения разжимного штока 3 с конусом. Корпус 2 хонинговальной головки своим хвостовиком 1 вставляют в патрон станка. Головка (хон) совершает вращательное  $D_r$  и возвратно-поступательное движение  $D_{сп}$ , вследствие этого на обрабатываемой поверхности возникает косая мелкая сетка штрихов-рисок от абразивных зерен (рис. 12.11, б). Разжим брусков в головке осуществляют разжимным штоком 3 с одним (или двумя) конусами механическим или гидравлическим способом.

Процесс хонингования проводят на вертикальных и горизонтальных хонинговальных станках. Хонингованием удаляют припуск на сторону в пределах 0,05... 0,15 мм в зависимости от диаметра отверстия, обрабатываемого материала, предшествующей обработки, материала зерен брусков. В этих пределах устраняют конусность и эллиптичность отверстия. При хонинговании припуск под чистовое хонингование составляет 5... 15 % от припуска под предварительное.

Для обеспечения высокого качества поверхности при хонинговании необходимо правильно назначать скорости вращательного  $v_0$  и поступательного  $v_n$  движений, оказывающих влияние на направление штрихов обработки, получаемых в результате комби-

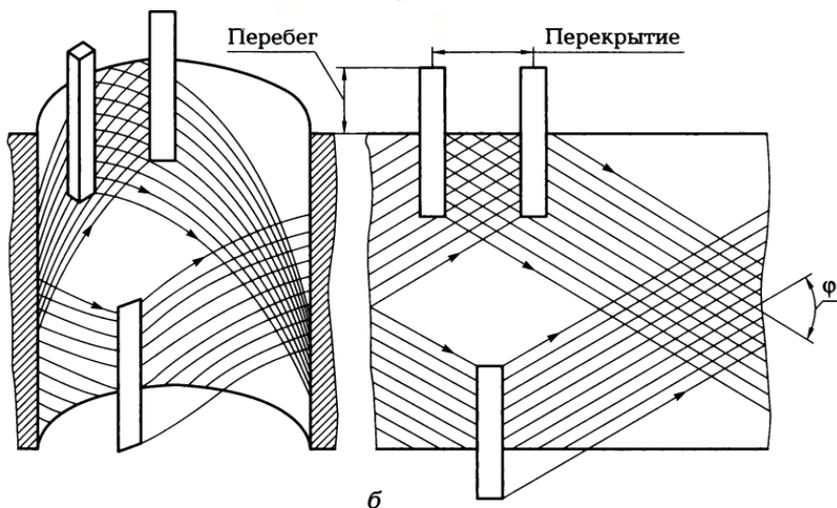
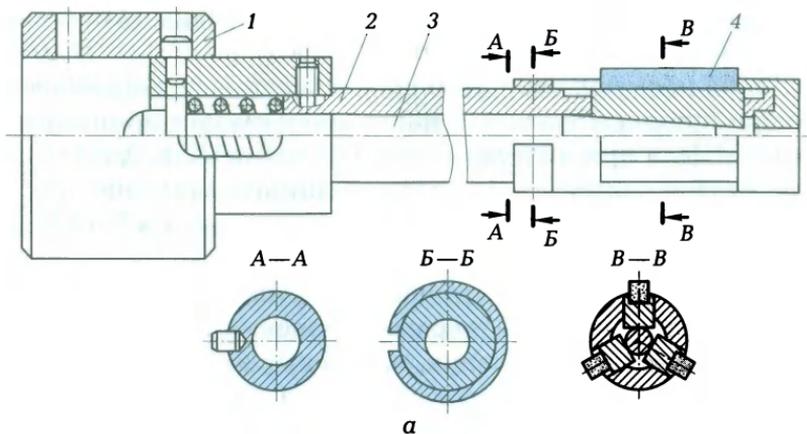


Рис. 12.11. Хон [а] и схема штрихов на обрабатываемой поверхности [б]:  
 1 — хвостовик; 2 — корпус; 3 — разжимной шток; 4 — абразивный брусок;  $\varphi$  — угол  
 скрещивания штрихов обработки

нированного движения. Угол скрещивания штрихов обработки  $\varphi$  должен быть в пределах  $40 \dots 70^\circ$ :

$$\operatorname{ctg} \frac{\varphi}{2} = \frac{v_0}{v_n}$$

Окружные скорости вращения головок рекомендуют следующие: при обработке сталей —  $25 \dots 40$  м/мин ( $0,417 \dots 0,667$  м/с), чугуна —  $60 \dots 80$  м/мин ( $1 \dots 1,33$  м/с), алюминиевых сплавов, бронзы

и латуни — 60...75 м/мин (1...1,25 м/с). Скорости прямолинейного поступательного движения выбирают в пределах от 8 до 22 м/мин (0,133...0,367 м/с). Давления абразивных брусков на керамической связке при предварительном хонинговании следует принимать от 0,4 до 0,8 МПа, а при чистовом — от 0,2 до 0,4 МПа. Для брусков на бакелитовой связке необходимо принимать давление брусков 0,8...0,15 МПа при предварительном хонинговании и 0,5 МПа — при чистовом.

Для хонингования стали применяют бруски из зерен электрокорунда и алмаза; чугуна и твердых сплавов — из зерен карбида кремния и алмаза; алюминиевых, магниевых и медных сплавов — из зерен карбида кремния на керамической, бакелитовой и металлической связках (последняя — только для алмазных брусков).

Для обработки твердых сплавов и закаленных сталей можно использовать алмазные бруски на электролитической связке — хром, серебро, никель. Алмазное зерно в этом случае используют почти до полного износа, так как оно прочно удерживается связкой.

Хонингование проводят с обильной подачей СОЖ, которая, выполняя смазывание и охлаждение, смывает продукты отхода. При обработке стали и чугуна в качестве СОЖ применяют чистый керосин или керосин с добавками минеральных масел.

Наружное хонингование цилиндрических поверхностей обеспечивает высокую точность обрабатываемой поверхности и шероховатость поверхности до  $Ra$  0,08 мкм.

Процесс хонингования наружной цилиндрической поверхности отличается от суперфиниширования прежде всего тем, что при суперфинишировании абразивные бруски воздействуют на обрабатываемую заготовку с одной стороны, а при хонинговании бруски распределены по всей окружности. Поэтому при наружном шлифовании могут быть исправлены погрешности предшествующей обработки как в поперечном сечении (овальность, огранка), так и в продольном направлении (конусность, седлообразность и т.д.). Этого невозможно полностью достигнуть при суперфинишировании.

Принципиально конструкции хонинговальных головок для наружного хонингования и приспособления для крепления заготовки не отличаются от хонинговальных головок и приспособлений для внутреннего шлифования.

Для хонингования наружных поверхностей не выпускают специальных станков и процесс хонингования осуществляют, как правило, на модернизированных шлифовальных, горизонтально-расточных, горизонтально-хонинговальных и других станках.

## 12.2.6. Полирование

Полирование применяют для повышения качества обработанной поверхности при помощи эластичных кругов или абразивных лент. На поверхность эластичного круга из кожи, войлока, фетра, бязи наносят с помощью клея слой абразивных зерен или слой полировальной пасты.

Полированием эластичными кругами получают качество поверхности от  $Ra\ 0,16$  до  $Rz\ 0,1$  мкм. Предварительно обработанная поверхность должна быть соответственно не ниже  $Ra\ 0,32 \dots 0,08$  мкм. Съем металла в процессе полирования составляет  $0,01 \dots 0,03$  мм.

Скорость вращения полировальных кругов  $10 \dots 40$  м/с. Зернистость абразива выбирают в зависимости от вида полирования (предварительное  $10 - 6$  и чистовое  $6 - 4$ , M40, M10). При тонком полировании абразив применяют в пасте.

Пасты состоят из абразивной и неабразивной частей.

Абразивными материалами при полировании служат электрокорунд, оксид железа — для полирования стали, наждак и оксид хрома — для полирования меди, алюминия и их сплавов, карбид кремния, оксид железа — для полирования чугуна.

Неабразивные составляющие паст — это стеарин, парафин, олеиновая кислота, пчелиный воск.

Процесс полирования при помощи паст основан на одновременном механическом и химическом воздействии абразивной и неабразивной составляющих полировальной пасты. Абразивные зерна снимают с обрабатываемой поверхности тончайшие слои окисленного поверхностного слоя металла, а также пластически деформируют поверхностный слой вследствие высокой температуры и значительного давления полировального круга на обрабатываемую поверхность.

Полирование с помощью абразивных лент применяют при ручной и механической обработке. Абразивные ленты изготавливают на бумажной и тканевой основе.

При полировании абразивными лентами можно получить качество поверхности  $Ra\ 0,32 \dots 0,08$  мкм.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

---

1. Покажите схемы методов шлифования различных поверхностей.

2. Из каких абразивных материалов изготавливают шлифовальные круги?
3. Какие характеристики шлифовальных кругов являются основными?
4. Какие работы можно выполнять тонким алмазным точением и растачиванием?

# Список литературы

1. *Анурьев В. И.* Справочник конструктора-машиностроителя : в 3 т. / В. И. Анурьев; под ред. И. Н. Жестковой. — М. : Машиностроение, 1999. — Т. 1. — 912 с.; Т. 2. — 875 с.; Т. 3. — 847 с.
2. *Гини Э. Ч.* Технология литейного производства : Специальные виды литья : учебник / Э. Ч. Гини, А. М. Зарубин, В. А. Рыбкин; под ред. В. А. Рыбкина. — М. : Издательский центр «Академия», 2008. — 352 с.
3. *Горбунов Б. И.* Обработка металлов резанием, металлорежущий инструмент и станки : учеб. пособие / Б. И. Горбунов. — М. : Машиностроение, 1981. — 287 с.
4. *Иноземцев Г. Г.* Проектирование металлорежущих инструментов : учеб. пособие / Г. Г. Иноземцев. — М. : Машиностроение, 1984. — 272 с.
5. *Лоладзе Т. Н.* Прочность и износостойкость режущего инструмента / Т. Н. Лоладзе. — М. : Машиностроение, 1982. — 320 с.
6. *Маталин А. А.* Технология машиностроения : учебник / А. А. Маталин. — Л. : Машиностроение, 1986. — 496 с.
7. *Металлорежущие инструменты* : учебник / [Г. Н. Сахаров, К. М. Куштаров и др.]. — М. : Машиностроение, 1989. — 328 с.
8. *Семенов Б. И.* Производство изделий из металла в твердотвердом состоянии. Новые промышленные технологии / Б. И. Семенов, К. М. Куштаров. — М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010. — 223 с.
9. *Справочник технолога-машиностроителя* : в 2 т. / под ред. А. М. Дальского и др. — М. : Машиностроение-1, 2003. — Т. 1. — 912 с.; — Т. 2. — 944 с.
10. *Технология конструкционных материалов* : учебник / [А. М. Дальский и др.]; под общ. ред. А. М. Дальского. — М. : Машиностроение, 2002. — 511 с.
11. *Хаит Г. Л.* Прочность режущего инструмента / Г. Л. Хаит. — М. : Машиностроение, 1975. — 168 с.
12. *Черепяхин А. А.* Технология обработки материалов : учебник / А. А. Черепяхин. — М. : Издательский центр «Академия», 2016. — 272 с.
13. *Шепелев Н. И.* Сборка, монтаж и регулировка приборов систем автоматического управления / Н. И. Шепелев, А. И. Лукин. — М. : Машиностроение, 1982. — 255 с.

Предисловие.....	4
Введение.....	5
<b>Глава 1. Основные понятия, относящиеся к разработке технологических процессов.....</b>	<b>7</b>
1.1. Объекты производства.....	7
1.2. Производственный и технологический процессы.....	8
1.3. Типы производства.....	11
<b>Глава 2. Литье.....</b>	<b>14</b>
2.1. Общие сведения.....	14
2.2. Литье в землю (в песчаные формы).....	17
2.3. Литье в оболочковые формы.....	22
2.4. Литье по выплавляемым и выжигаемым моделям.....	25
2.5. Литье в кокиль.....	33
2.6. Центробежное литье.....	36
2.7. Литье под давлением.....	38
2.8. Другие виды литья в металлические формы.....	45
<b>Глава 3. Обработка металлов давлением.....</b>	<b>51</b>
3.1. Общие сведения.....	51
3.2. Получение машиностроительных профилей.....	57
3.2.1. Виды профилей.....	57
3.2.2. Прокатка.....	59
3.2.3. Прессование.....	65
3.2.4. Волочение.....	67
3.2.5. Гибка.....	69
3.3. Горячая ковка и штамповка.....	70
3.3.1. Виды поковок.....	70
3.3.2. Ковка.....	72
3.3.3. Горячая объемная штамповка.....	80
3.3.4. Ротационное обжатие.....	87
3.4. Холодная штамповка.....	90
3.4.1. Листовая штамповка.....	90
3.4.2. Холодная объемная штамповка.....	109
3.4.3. Оборудование и инструмент для холодной штамповки.....	115

3.5. Производство изделий из металла в твердожидком состоянии .....	117
3.5.1. Общие сведения .....	117
3.5.2. Тиксолитье и тиксоштамповка .....	120
3.5.3. Процессы тиксо- и реомолдинга .....	122
<b>Глава 4. Электрофизические и электрохимические методы размерной обработки материалов .....</b>	<b>128</b>
4.1. Общие сведения .....	128
4.2. Электроконтактная обработка .....	129
4.3. Анодно-механическая обработка .....	132
4.4. Электрохимическая размерная обработка .....	136
4.5. Электроэрозионная обработка металлов .....	140
4.6. Ультразвуковая размерная обработка .....	148
4.7. Лучевые методы размерной обработки .....	155
4.8. Плазменная размерная обработка и сварка материалов .....	163
<b>Глава 5. Сварка, пайка и склеивание .....</b>	<b>166</b>
5.1. Сущность процесса и способы сварки .....	166
5.2. Требования, учитываемые при выборе способа сварки .....	167
5.3. Классификация способов дуговой сварки .....	168
5.4. Дуговая сварка в защитных газах .....	173
5.5. Источники питания для дуговой сварки .....	178
5.6. Сварка лучевыми методами .....	179
5.7. Плазменная сварка .....	181
5.8. Газовая сварка и кислородная резка .....	183
5.9. Контактная сварка .....	188
5.10. Сварка аккумулированной энергией .....	193
5.11. Холодная сварка .....	195
5.12. Диффузионная сварка в вакууме .....	196
5.13. Сварка ультразвуком .....	198
5.14. Типы сварных соединений .....	200
5.15. Пайка .....	201
5.16. Склеивание .....	213
<b>Глава 6. Основные сведения о резании материалов .....</b>	<b>218</b>
6.1. Металлорежущие станки и их классификация .....	218
6.2. Металлорежущие инструменты .....	223
6.3. Методы формообразования поверхностей деталей машин резанием .....	223
6.4. Основные элементы и геометрия рабочей части инструмента .....	227
6.5. Элементы режима резания и срезаемого слоя .....	231
6.6. Физические основы процесса резания .....	233

<b>Глава 7. Точение</b> .....	244
7.1. Характеристика метода точения.....	244
7.2. Обработка на токарных станках.....	245
7.2.1. Общие сведения о токарных станках.....	245
7.2.2. Инструменты для токарных работ.....	251
7.2.3. Закрепление заготовок на токарных станках.....	264
7.2.4. Работы, выполняемые на токарных станках.....	267
7.3. Обработка заготовок на токарно-револьверных станках.....	280
7.3.1. Общие сведения о токарно-револьверных станках.....	280
7.3.2. Работы, выполняемые на токарно-револьверных станках.....	284
7.4. Обработка заготовок на токарных автоматах.....	286
7.4.1. Общие сведения о токарных автоматах.....	286
7.4.2. Фасонно-отрезные автоматы.....	288
7.4.3. Продольно-фасонные автоматы.....	289
7.4.4. Токарно-револьверные автоматы.....	291
7.4.5. Проектирование процесса обработки и настройка токарных автоматов.....	292
7.4.6. Многошпиндельные токарные автоматы и полуавтоматы.....	292
7.5. Обработка заготовок на токарных станках с ЧПУ.....	294
7.5.1. Общие сведения.....	294
7.5.2. Обработка заготовок на токарно-карусельных станках с ЧПУ.....	295
7.5.3. Обработка заготовок на токарных многоцелевых станках.....	297
<b>Глава 8. Строгание, долбление и протягивание</b> .....	299
8.1. Строгание.....	299
8.1.1. Характеристика метода строгания.....	299
8.1.2. Режущий инструмент и схемы обработки заготовок на строгальных и долбежных станках.....	300
8.2. Протягивание и прошивание.....	303
8.2.1. Характеристика метода.....	303
8.2.2. Режущий инструмент и режимы резания.....	304
8.2.3. Схемы обработки заготовок на протяжных станках.....	307
<b>Глава 9. Сверление, рассверливание, зенкерование, развертывание и растачивание</b> .....	311
9.1. Общие сведения.....	311
9.1.1. Особенности технологических операций.....	311
9.1.2. Геометрические параметры режущей части сверл, зенкеров и разверток.....	312
9.1.3. Элементы режима резания и срезаемого слоя.....	314
9.2. Режущий инструмент и технологическая оснастка сверлильных станков.....	317

9.2.1. Режущие инструменты.....	317
9.2.2. Технологическая оснастка сверлильных станков.....	321
9.3. Схемы обработки заготовок на сверлильных станках .....	322
9.4. Растачивание .....	326
9.4.1. Характеристика метода и режимы резания .....	326
9.4.2. Технологическое оборудование .....	326
9.4.3. Режущий инструмент и технологическая оснастка расточных станков.....	328
9.4.4. Схемы обработки заготовок на расточных станках .....	331
<b>Глава 10. Зубообработка и резбобработка .....</b>	<b>334</b>
10.1. Зубообработка.....	334
10.1.1. Общие сведения о зубообрабатывающих станках .....	334
10.1.2. Способы получения зубчатого венца у цилиндрических зубчатых колес .....	335
10.1.3. Способы чистовой обработки зубчатого венца у цилиндрических зубчатых колес .....	344
10.1.4. Способы получения зубчатого венца у червячных и конических зубчатых колес .....	349
10.1.5. Зуборезные инструменты.....	354
10.2. Резбобработка .....	356
10.2.1. Общие сведения о методах резбобработки и резбобобрабатывающих станках.....	356
10.2.2. Резьбонарезание на резьбофрезерных станках .....	357
10.2.3. Резьбонарезание на болторезных и гайкорезных станках.....	359
10.2.4. Резьбобработка на резьбонакатных станках.....	361
<b>Глава 11. Фрезерование .....</b>	<b>369</b>
11.1. Характеристика метода фрезерования.....	369
11.1.1. Общие сведения .....	369
11.1.2. Геометрические параметры режущей части фрез .....	371
11.1.3. Режим резания и элементы срезаемого слоя при фрезеровании.....	371
11.1.4. Особенности процесса фрезерования.....	374
11.1.5. Равномерность процесса фрезерования .....	375
11.2. Технологическое оборудование для фрезерования.....	376
11.3. Типы фрез, их износ и заточка.....	379
11.4. Технологическая оснастка фрезерных станков .....	382
11.5. Схемы обработки заготовок на фрезерных станках.....	385
<b>Глава 12. Шлифование и отделочные виды обработки .....</b>	<b>390</b>
12.1. Шлифование.....	390
12.1.1. Наружное круглое шлифование .....	390
12.1.2. Бесцентровое наружное шлифование.....	392
12.1.3. Внутреннее шлифование.....	395

12.1.4. Плоское шлифование .....	398
12.1.5. Шлифовальные инструменты .....	400
12.1.6. Элементы режима резания при шлифовании .....	409
12.1.7. Изнашивание, правка и балансировка кругов .....	412
12.2. Отделочные и доводочные виды обработки .....	415
12.2.1. Тонкое алмазное точение и растачивание .....	415
12.2.2. Алмазное выглаживание .....	417
12.2.3. Тонкое шлифование .....	417
12.2.4. Суперфиниширование .....	419
12.2.5. Хонингование .....	420
12.2.6. Полирование .....	423
Список литературы .....	425

*Учебное издание*

**Гоцеридзе Руслан Михайлович**

**Процессы формообразования и инструменты**

**Учебник**

7-е издание, переработанное и дополненное

Редактор *И.В.Мочалова*

Компьютерная верстка: *Р.Ю.Волкова*

Корректор *С.Ю.Свиридова*

Изд. № 107107942. Подписано в печать 16.05.2016. Формат 60 × 90/16.

Гарнитура «Балтика». Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 27,0.

Тираж 1000 экз. Заказ № М-1429.

ООО «Издательский центр «Академия». [www.academia-moscow.ru](http://www.academia-moscow.ru)

129085, Москва, пр-т Мира, 101В, стр. 1.

Тел./факс: (495) 648-0507, 616-00-29.

Санитарно-эпидемиологическое заключение № РОСС RU. АЕ51. Н 16679 от 25.05.2015.

Отпечатано в полном соответствии с качеством  
предоставленного электронного оригинал-макета  
в типографии филиала АО «ТАТМЕДИА» «ПИК «Идел-Пресс».  
420066, г. Казань, ул. Декабристов, 2.  
E-mail: [idelpress@mail.ru](mailto:idelpress@mail.ru)

# ПРОЦЕССЫ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ И ИНСТРУМЕНТЫ

ПРОЦЕССЫ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ И ИНСТРУМЕНТЫ

ISBN 978-5-4468-2799-2



Издательский центр «Академия»  
[www.academia-moscow.ru](http://www.academia-moscow.ru)