



для  
высшей  
школы

**Практикум  
по технологии  
переработки  
и испытаниям  
полимеров  
и композиционных  
материалов**



«КолосС»



# **Практикум по технологии переработки и испытаниям полимеров и композиционных материалов**

Допущено Учебно-методическим объединением по образованию в области химической технологии и биотехнологии в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Технология переработки пластических масс и эластомеров»



**МОСКВА  
«КолосС»  
2011**

УДК 678.6 : 678.05(075.8)

ББК 35.719я73

С14

Авторы: *А. Н. Садова, В. Г. Бортников, А. Е. Заикин, Х. С. Абзальдинов, В. П. Архиреев*

Редактор *Л. И. Галицкая*

Рецензенты: кафедра материаловедения и технологии материалов Казанского государственного технического университета им. А. В. Туполева (зав. кафедрой докт. техн. наук, проф. *Э. Р. Галимов*); зав. кафедрой материаловедения и технологии материалов Казанского государственного энергетического университета докт. техн. наук, проф. *О. С. Сироткин*

**Практикум по технологии переработки и испытаниям полимеров и композиционных материалов/А. Н. Садова, В. Г. Бортников, А. Е. Заикин и др. — М.: КолосС, 2011. — 191 с.: ил. — (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений).**

ISBN 978—5—9532—0745—4

Практикум содержит описание лабораторных работ по технологии переработки пластмасс и композиционных материалов.

Описанию методик проведения работ предпосланы краткие теоретические преамбулы, содержащие способы расчета технологических параметров каждого из рассматриваемых процессов. Затем следуют описание самой методики проведения работы и анализ качества получаемых изделий. В конце книги приведены вопросы для самостоятельной подготовки студентов.

Для студентов вузов, обучающихся по специальности «Технология переработки пластических масс и эластомеров». Может быть полезен также аспирантам и научным работникам, занимающимся переработкой и испытаниями полимеров и композиционных материалов.

УДК 678.6 : 678.05(075.8)

ББК 35.719я73

*Оригинал-макет книги является собственностью издательства «КолосС», и его воспроизведение в любом виде, включая электронный, без согласия издателя запрещено.*

ISBN 978—5—9532—0745—4

© Коллектив авторов, 2011

© Издательство «КолосС», 2011

# Оглавление

---

<i>Предисловие</i> .....	6
<b>Глава 1. Реологические свойства расплавов полимеров</b> .....	8
1.1. Теоретические основы течения полимеров .....	8
1.2. Основные узлы и принцип действия прибора для исследования реологических свойств полимеров .....	10
<i>Работа 1.</i> Определение показателя текучести расплава термопласта .....	12
<i>Работа 2.</i> Определение плотности расплава полимера .....	13
<i>Работа 3.</i> Определение реологических характеристик расплавов термопластичных полимеров .....	14
<b>Глава 2. Технологические свойства пластмасс</b> .....	19
2.1. Определение объемных характеристик .....	19
<i>Работа 4.</i> Определение насыпной плотности и удельного объема .....	19
<i>Работа 5.</i> Определение коэффициента уплотнения .....	20
2.2. Определение степени дисперсности и однородности (гранулометрического состава) полимерных материалов .....	21
<i>Работа 6.</i> Определение степени дисперсности .....	21
2.3. Определение сыпучести .....	22
<i>Работа 7.</i> Определение сыпучести по времени опорожнения стандартной воронки .....	22
<i>Работа 8.</i> Определение сыпучести по углу естественного откоса .....	23
2.4. Определение содержания влаги .....	24
<i>Работа 9.</i> Определение влаги высушиванием .....	24
2.5. Определение водопоглощения .....	25
2.6. Определение водопоглощения в холодной воде .....	25
<i>Работа 10.</i> Определение водопоглощения в кипящей воде .....	26
2.6. Определение текучести .....	27
<i>Работа 12.</i> Определение текучести термореактивных пресс-материалов .....	27
2.7. Определение усадки .....	28
<i>Работа 13.</i> Определение усадки .....	29
2.8. Определение технологических характеристик пресс-материалов .....	30
<i>Работа 14.</i> Определение скорости отверждения или времени выдержки .....	30
<i>Работа 15.</i> Определение пластично-вязких свойств и кинетики отверждения термореактивных пресс-материалов на пластометре Канавца .....	31
2.9. Определение таблетуемости пресс-материалов .....	34
<i>Работа 16.</i> Определение таблетуемости пресс-материала .....	35
<b>Глава 3. Переработка полимеров в изделия</b> .....	37
3.1. Исследование процесса экструзии .....	37
3.1.1. Особенности переработки полимеров методом экструзии .....	37
3.1.2. Основные узлы и принцип работы экструдера .....	42

<i>Работа 17.</i> Изготовление листов методом экструзии .....	44
3.2. Исследование процесса литья термопластов под давлением .....	51
3.2.1. Особенности переработки термопластов методом литья под давлением .....	51
3.2.2. Основные узлы и принцип действия литьевой машины .....	55
<i>Работа 18.</i> Изготовление изделия «лопатка» из термопластов методом литья под давлением .....	59
3.3. Исследование процесса переработки реактопластов методом прямого прессования .....	67
3.3.1. Особенности переработки реактопластов методом прямого прессования .....	67
3.3.2. Основные узлы и принцип действия гидравлического пресса .....	68
<i>Работа 19.</i> Изготовление изделий из реактопластов методом прямого прессования .....	72
3.4. Исследование процесса термоформования изделий из листов .....	81
3.4.1. Особенности процесса термоформования .....	81
3.4.2. Основные узлы и принцип действия машин для термоформования изделий из листов .....	85
<i>Работа 20.</i> Исследование процесса вакуумного формования .....	90
3.5. Исследование процесса смешения полимеров .....	95
3.5.1. Особенности смешения полимеров с различными компонентами .....	95
3.5.2. Основные узлы и принцип работы валльцев .....	96
3.5.3. Выбор технологических параметров процесса смешения .....	97
3.5.4. Изготовление образцов из термопластов прессованием .....	99
<i>Работа 21.</i> Изучение влияния условий смешения на качество диспергирования наполнителя в термопласте .....	102
<i>Работа 22.</i> Получение пластифицированного поливинилхлорида смешением .....	104
<i>Работа 23.</i> Получение ударопрочного полистирола смешением .....	105
<i>Работа 24.</i> Изучение влияния дисперсного наполнителя на деформационно-прочностные свойства термопластов .....	106
<b>Глава 4. Физико-механические свойства пластмасс .....</b>	<b>108</b>
4.1. Основные физико-механические характеристики пластмасс .....	108
4.2. Машины и приборы для физико-механических испытаний .....	112
4.2.1. Машины для статических испытаний .....	112
4.2.2. Машины для ударных испытаний .....	121
4.2.3. Машины для динамических испытаний .....	123
4.2.4. Приборы для испытания на твердость .....	124
<i>Работа 25.</i> Определение разрушающего напряжения при растяжении .....	126
<i>Работа 26.</i> Определение разрушающего напряжения при растяжении при повышенных и пониженных температурах .....	129
<i>Работа 26А.</i> Испытание при однократном растяжении образца и температуре окружающей среды .....	130
<i>Работа 26Б.</i> Испытание при однократном растяжении образца и нагреве в термодриокамере .....	131
<i>Работа 26В.</i> Испытание при однократном растяжении образца и охлаждении в термодриокамере .....	131
<i>Работа 26Г.</i> Испытание при однократном растяжении образца с поддержанием заданной нагрузки .....	131

<i>Работа 26Д.</i> Испытание при многократном растяжении образца в пределах заданных значений нагрузки (циклическая нагрузка) .....	132
<i>Работа 26Е.</i> Испытание при многократном растяжении образца в пределах заданных значений перемещения активного захвата (циклическая деформация) .....	132
<i>Работа 27.</i> Определение ударной вязкости полимеров .....	133
<i>Работа 28.</i> Определение твердости полимерных материалов .....	135
<i>Работа 29.</i> Определение разрушающего напряжения при изгибе .....	137
<i>Работа 30.</i> Определение разрушающего напряжения при сжатии .....	139
<i>Работа 31.</i> Определение устойчивости полимеров к многократному изгибу ....	140
<b>Г л а в а 5. Диэлектрические свойства полимеров</b> .....	144
<i>Работа 32.</i> Определение удельного объемного и удельного поверхностного электрического сопротивления полимеров .....	149
<i>Работа 33.</i> Определение диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь полимеров .....	153
<i>Работа 34.</i> Определение электрической прочности полимеров .....	157
<b>Г л а в а 6. Температурные характеристики полимеров</b> .....	160
6.1. Основные понятия о теплофизических свойствах полимеров .....	160
6.2. Свойства полимеров при различных температурах .....	160
<i>Работа 35.</i> Термомеханический метод исследования полимеров .....	163
<i>Работа 36.</i> Определение коэффициента морозостойкости полимеров, находящихся в высокоэластическом состоянии .....	164
<i>Работа 37.</i> Определение температуры размягчения полимеров по методу Вика .....	167
<b>Г л а в а 7. Техника безопасности</b> .....	169
7.1. Техника безопасности при работе на вальцах .....	169
7.2. Техника безопасности при работе на экструдере .....	170
7.3. Техника безопасности при работе на литьевой машине .....	172
7.4. Техника безопасности при работе на гидравлическом прессе .....	173
7.5. Техника безопасности при работе на вакуум-формовочной лабораторной установке .....	175
7.6. Техника безопасности при работе на капиллярном вискозиметре .....	175
7.7. Техника безопасности при работе на маятниковом копре .....	176
7.8. Инструкция по электробезопасности при работе в лаборатории .....	177
Вопросы и задания для самостоятельной подготовки студентов к семинарским и лабораторным занятиям .....	179
<i>Приложение</i> .....	185
<i>Литература</i> .....	191

## Предисловие

---

Учебное пособие по технологии переработки и испытаниям полимеров и композиционных материалов содержит описание лабораторных работ по основным методам переработки и по наиболее важным методам испытания пластмасс и композиционных материалов. Перед описанием лабораторных работ сформулирована цель, сущность метода и несколько вариантов заданий. В начале работы предложено краткое описание теоретической части процессов переработки полимеров и композиционных материалов, методики расчетов технологических параметров процессов, их выполнения и анализа качества готовых изделий.

В качестве базовой составляющей подготовки специалистов высокого уровня необходимо выделить эффективный тренинг в процессе лабораторных и практических занятий; сюда можно включить и решение ситуационных задач.

Отличительной особенностью данного практикума является то, что он включает в себя все стадии производства изделий из пластмасс и композиционных материалов. Это не только выбор метода переработки полимера в изделия, но выбор и расчет технологических параметров процесса, оформление технологической документации, необходимой для производства изделия (операционные и технологические карты), контроль качества готовых изделий. При расчете технологических параметров процессов переработки использованы новые оригинальные методы, предложенные профессором В. Г. Бортниковым.

В лабораторных работах предусмотрены элементы научной экспериментальной деятельности. По мнению авторов, это позволит глубже понять процессы, происходящие при переработке полимеров, и освоить практические приемы управления свойствами готового изделия.

Данное учебное пособие прошло практическую проверку в процессе проведения лабораторных работ в Казанском государственном технологическом университете.

В конце пособия имеется приложение, в котором приведены справочные данные, необходимые для успешного выполнения лабораторных работ, изложены правила безопасной работы на приборах и оборудовании по переработке пластмасс и даны вопросы и задания для самостоятельной подготовки.

Пособие представляет собой коллективный труд группы преподавателей кафедр технологии пластических масс и технологии переработки полимеров и композиционных материалов Казанского государственного технологического университета.

Авторы выражают свою признательность заведующему кафедрой технологии переработки полимеров и композиционных материалов профессору Р. Я. Дебердеву и заведующему кафедрой технологии пластических масс профессору О. В. Стоянову за помощь в подготовке учебного пособия.



# Глава 1

---

## РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РАСПЛАВОВ ПОЛИМЕРОВ

### 1.1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕЧЕНИЯ ПОЛИМЕРОВ

Большинство процессов переработки полимеров связано с течением расплавов в формующих и литниковых каналах и определяется их реологическими свойствами.

Для правильного определения основных технологических параметров процесса переработки большое значение имеют сведения о деформационных характеристиках расплава полимера в широком интервале как деформаций, так и температур. Все эти зависимости получают экспериментально при реологических исследованиях расплавов полимеров.

Реологические свойства материалов характеризуют их способность к течению. Характерной особенностью полимеров является двойственность их реологического поведения: при одних условиях они ведут себя как упругие тела, при других — как истинно вязкие жидкости. Так, при переработке полимеры обычно ведут себя как жидкости, но могут проявлять и упругие свойства. Вязкостные свойства таких жидкостей зависят от режима течения, и в связи с этим их называют аномально вязкими жидкостями.

Существуют следующие основные виды аномалии вязкости: *псевдопластичность, дилатансия, тиксотропия и реопексия* [1].

Расплавы полимеров по своим реологическим свойствам в большинстве своем соответствуют неньютоновским псевдопластичным жидкостям. Для них характерно замедление роста напряжения сдвига  $\tau$  и уменьшение вязкости  $\eta$  с ростом скорости сдвига  $\dot{\gamma}$ .

Эффективная вязкость этих полимеров уменьшается с увеличением скорости сдвига вследствие ориентации и вытягивания макромолекул вдоль направления течения, что уменьшает физические «зацепления» макромолекул.

Для описания реологических зависимостей наиболее часто используют степенное уравнение, которое для сдвигового одномерного течения имеет следующий вид:

$$\tau = K \left( \frac{d\gamma}{dt} \right)^n = K \dot{\gamma}^n, \quad (1.1)$$

где  $\tau$  — напряжение сдвига;  $K$  — коэффициент, численно равный напряжению сдвига  $\tau$  при скорости сдвига  $\dot{\gamma} = 1$ ;  $n$  — показатель степени, характеризует степень

аномального поведения расплава (для ньютоновских жидкостей  $n = 1$ , для псевдопластических  $n < 1$ , для дилатантных  $n > 1$ );  $dv/dy$ , или  $\dot{\gamma}$  — скорость сдвига; это интенсивность изменения скорости жидкости между отдельными слоями.

Скорость сдвига равна разности скоростей движения слоев жидкости, отнесенной к расстоянию между ними.

Коэффициенты  $K$  и  $n$  могут быть определены графически или аналитически. Прологарифмировав обе части уравнения, получим:

$$\lg \tau = \lg K + n \lg \dot{\gamma} \quad (1.2)$$

при  $\dot{\gamma} = 1$ ,  $K = \tau$ , а  $n = \frac{\lg(\tau_i/k)}{\lg \dot{\gamma}_i}$ , где  $\tau_i$  и  $\dot{\gamma}_i$  — текущие значения напряжения и скорости сдвига.

Если в логарифмических координатах кривая течения расплава полимера имеет нелинейный вид, то в этом случае показатель степени не является постоянной величиной и уменьшается с ростом скорости сдвига.

При малых напряжениях сдвига течение расплавов и растворов полимеров характеризуется максимальным значением вязкости, называемой *наибольшей ньютоновской вязкостью*  $\eta_0$ . Увеличивая скорость сдвига, мы переходим в область течения, где большая часть надмолекулярных структур и межузловые зацепления макромолекул разрушаются. Полимер при этом проявляет аномалию вязкости, и это выражается падением вязкости. При очень высоких скоростях сдвига в расплаве достигается предельная ориентация структуры полимера, новые ассоциаты и межузловые зацепления не успевают возникать и вязкость имеет минимальное постоянное значение. Такая вязкость называется *наименьшей ньютоновской вязкостью*  $\eta_{\infty}$ .

Реологические зависимости дают полную характеристику течению полимеров и широко используются для инженерных расчетов оборудования, литьевых форм и т. д.

Эффективную вязкость при различных скоростях сдвига можно определить по формуле

$$\eta_{\text{эф}} = \tau/\dot{\gamma} \quad (1.3)$$

Процесс течения требует расхода необходимой для относительного перемещения макромолекул расплава полимера энергии, которая значительно уменьшается с увеличением температуры.

Зависимость изменения вязкости от температуры описывается уравнением

$$\eta = A e^{E/RT}, \quad (1.4)$$

где  $A$  — коэффициент, зависящий от молекулярной природы жидкости;  $E$  — энергия активации вязкого течения;  $R$  — газовая постоянная [ $R = 8,314 \text{ кДж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$ ];  $T$  — абсолютная температура расплава.

Используя это уравнение и экспериментальные реологические зависимости, можно рассчитать энергию активации вязкого течения (кДж/моль):

$$E_{\gamma} = \frac{RT_1T_2 \ln(\eta_1/\eta_2)}{T_2 - T_1}, \quad (1.5)$$

где  $T_1, T_2$  — температуры расплавов, К;  $\eta_1, \eta_2$  — эффективная вязкость, соответствующая температурам  $T_1, T_2$ , Па · с.

Подробно реологические характеристики расплавов полимеров, их зависимости и математическое описание приведены в литературе [1, 4].

## 1.2. ОСНОВНЫЕ УЗЛЫ И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ПРИБОРА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРОВ

Для исследования реологических свойств термопластов широко используют ротационные или капиллярные вискозиметры. Описание и принцип действия капиллярного вискозиметра ИИРТ представлены далее.

Определение показателя текучести расплава термопласта ведут на пластометре установленных размеров (рис. 1.1), измерительный узел которого (рис. 1.1, а) состоит из экструзионной камеры 1, полого поршня 2 с направляющей головкой 3, капилляра 4 и дополнительного груза. Дополнительный груз укладывается на втулку, находящуюся в верхней части штока поршня. На штоке поршня имеется четыре кольцевые отметки, расположенные, как указано на рис. 1.1, б. Пластометр является частью прибора типа ИИРТ, основные элементы которого показаны на рис. 1.2.

Внутри измерительной головки вискозиметра (см. рис. 1.2) запрессован цилиндр 4, в который вставляется капилляр 8 и где имеется полость, в которую загружается исследуемый термопласт. Капилляр закрепляется ручкой стопора 11. Цилиндр обогревается электронагревателем 5, а снаружи защищен теплоизоляцией 6. Температура поддержи-

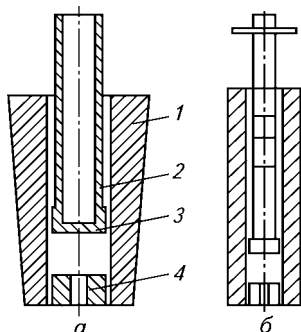
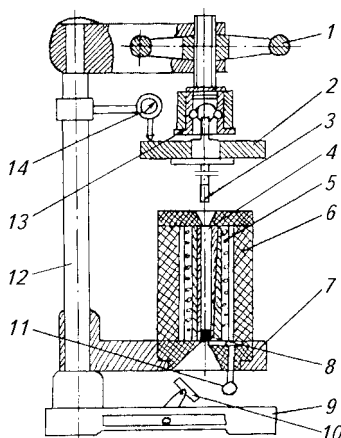


Рис. 1.1. Пластометр для определения показателя текучести расплава термопласта. Пояснения в тексте

**Рис. 1.2. Схема капиллярного вискозиметра ИИРТ:**

1 — штурвал; 2 — груз; 3 — поршень; 4 — цилиндр; 5 — нагреватель; 6 — теплоизоляция; 7 — подставка; 8 — капилляр; 9 — основание; 10 — зеркало; 11 — ручка стопора капилляра; 12 — стойка; 13 — зажимная втулка; 14 — индикатор



вается с помощью регулятора, а ее контроль перед измерением осуществляется ртутным термометром, помещенным в цилиндр 4, после установки капилляра 8.

Измерительная головка закреплена на стойке 12. Выдавливание полимера производится с помощью поршня 3 и груза 2. В нерабочем положении поршень фиксируется в зажимной втулке 13. Все узлы прибора смонтированы на стойке 12, закрепленной на основании 9. Наблюдение за вытекающим из капилляра расплавом производится с помощью зеркала 10, а срезание выдавленных жгутиков — специальным ножом.

Рекомендуемые условия испытаний (температура, масса груза, размеры капилляра) для определения показателя текучести расплавов различных термопластов устанавливаются ГОСТы на эти материалы.

Для некоторых термопластов эти условия приведены в табл. 1.1.

**Таблица 1.1. Условия испытаний при определении показателя текучести расплава**

Термопласт	Температура, °С	Масса груза, г
Полиэтилен ВД	190 ± 0,5	2160
Полиэтилен НД	190 ± 0,5	5000
Полипропилен	230 ± 0,5	2160
Полистирол	200 ± 0,5	5000

Объем материала, загружаемого в камеру пластометра, и промежулки времени, через которые следует отрезать пруток, вытекающий из капилляра, зависят от предполагаемого значения показателя текучести расплава (ПТР) термопласта (табл. 1.2).

**Таблица 1.2. Зависимость массы материала и промежутков времени, через которые следует отрезать вытекающий из капилляра пруток, от ПТР**

ПТР, г/10 мин	Масса образца, г	Интервал времени, с
0,1—0,5	1—5	240
0,5—1	4—5	120
1—3,5	4—5	60
3,5—10	6—8	30
10—25	6—8	10—15

### **Работа 1. Определение показателя текучести расплава термопласта**

**Цель работы:** ознакомиться с методикой оценки текучести термопласта по показателю текучести расплава (ПТР) и дать оценку возможности переработки его различными методами.

Работа на оборудовании (приборе) разрешается после изучения устройства и принципа его действия и правил безопасной работы на нем (см. главу 7), прохождения инструктажа по технике безопасности и только в присутствии преподавателя или учебного мастера, имеющего специальный допуск.

**Сущность метода.** Показатель текучести расплава термопласта — это масса полимера, проходящая через стандартное сопло прибора в течение 10 мин при температуре и нагрузке, соответствующих ГОСТ 11645—73 (см. табл. 1.1); выражается в г/10 мин. Другими словами, показатель текучести расплава — это массовая скорость течения, выраженная в граммах за 10 мин.

**Проведение испытания.** Перед началом испытания экструзионную камеру и поршень выдерживают в течение 15 мин при температуре испытания. После этого в экструзионную камеру загружают навеску испытуемого материала и уплотняют ее. Вставляют в камеру поршень и помещают на втулку соответствующий груз. После наложения груза материал начинает выдавливаться через капилляр. Как только нижняя кольцевая метка штока поршня опустится до верхней кромки экструзионной камеры, весь выдвинутый материал срезают и отбрасывают. Одновременно включают секундомер и начинают измерение объемной скорости течения расплава; его продолжают до тех пор, пока верхняя метка штока поршня не опустится до верхней кромки экструзионной камеры.

Если объемная скорость течения расплава меньше 3 см/10 мин, измерение скорости течения производят на участке штока между двумя средними метками. Для измерения показателя текучести расплава экструдат срезают через промежутки времени, указанные в табл. 1.2. Прутки, содержащие пузырьки воздуха, отбрасывают,

число годных прутков должно быть не меньше трех. Полученные прутки взвешивают каждый в отдельности с точностью до 0,001 г. Массу прутка определяют как среднее арифметическое результатов взвешивания всех прутков.

После окончания работы с прибором его прочищают в горячем состоянии. Поршень вынимают и чистят ткань, смоченной в каком-либо подходящем растворителе (например, в минеральном масле). Капилляр прочищается медной проволокой и погружается в нагретый растворитель. Экструзионную камеру прочищают тканью, смоченной растворителем, до блеска.

**Оформление результатов испытаний.** Результаты испытаний заносят в табл. 1.3.

**Таблица 1.3. Результаты испытаний**

Полимер, марка полимера	Масса выдавленного расплава, г	Время течения расплава, с	ПТР, г/10 мин	Среднее значение ПТР, г/10 мин

**Обработка результатов.** Экспериментальные данные используются для определения показателя текучести расплава (г/10 мин). Расчеты производят по формуле

$$\text{ПТР} = 600G/t, \quad (1.6)$$

где  $G$  — масса выдавленного жгутика, г;  $t$  — время выдавливания, с.

Пользуясь справочными данными по показателю текучести расплава, определяют возможную марку полимера.

## **Работа 2. Определение плотности расплава полимера**

**Цель работы:** ознакомиться с методикой определения плотности расплава полимера при повышенных температурах вискозиметрическим методом.

**Сущность метода.** Определяют объем и массу выдавленного через капилляр полимера при заданной температуре. Для определения плотности массу делят на объем.

Определение плотности расплава полимера проводят на капиллярном вискозиметре ИИРТ, представленном на рис. 1.2.

**Проведение испытания.** Включают прибор и производят корректировку температуры до заданной величины (см. табл. 1.1).

Эта работа выполняется по методике, описанной в разделе 1.2. Перед началом замера количества выдавленного полимера на груз устанавливают шток часового индикатора 14 (см. рис. 1.2) для замера движения штока. При этом шток индикатора должен быть

почти полностью введен в индикатор за счет упора о поверхность груза. По мере опускания поршня с грузом ножка индикатора перемещается вниз и по шкале указывает величину опускания штока.

При прохождении стрелки индикатора через нулевое деление выдавленная часть расплава отрезается ножом и начинается отсчет показаний индикатора. Один оборот стрелки соответствует опусканию поршня на 1 мм. После того как поршень опустится на 4—5 мм (стрелка индикатора сделает 4—5 оборотов), выдавленный полимер срезают и взвешивают. Затем ножка индикатора вновь опускается на плоскость груза, и делается еще несколько срезов.

По окончании испытаний индикатор поднимается вверх, поршень с грузом и капилляр вынимаются из цилиндра с помощью штурвала и очищают от расплава полимера. Отверстие капилляра прочищают латунным стержнем.

**Обработка результатов.** Выдавленные образцы полимера взвешивают на аналитических весах с точностью до 0,05 мг и проводят расчет плотности расплава полимера (кг/м<sup>3</sup>):

$$\rho = G/(hF), \quad (1.7)$$

где  $G$  — масса выдавленного полимера, кг;  $h$  — перемещение поршня при выдавливании одной навески (показания индикатора), м;  $F$  — площадь поршня.

Площадь поршня (м<sup>2</sup>) равна

$$F = \pi \frac{D^2}{4} = \pi \frac{9,48^2 \cdot 10^{-6}}{4}, \quad (1.8)$$

где  $D = 9,48$  мм — диаметр поршня.

Величина плотности рассчитывается как среднее арифметическое всех измерений, при этом расхождение между отдельными значениями не должно превышать 5 %. Величина плотности расплава используется в технологических расчетах оборудования и при расчете реологических характеристик полимеров.

### **Работа 3. Определение реологических характеристик расплавов термопластичных полимеров**

**Цель работы:** ознакомиться с методикой определения реологической зависимости напряжения от скорости сдвига при течении расплава полимера; рассчитать эффективную вязкость и показатель степени реологического уравнения.

**Сущность метода.** Определение реологической зависимости (*кривой течения*) расплава термопласта производится капиллярным методом. При течении расплава через капиллярные насадки различной длины определяют объемный секундный расход при различных значениях грузов. Используя уравнение течения ньютоновских жидкостей через цилиндрические каналы, рассчитывают напряжение сдвига и градиент скорости сдвига, а затем строят график зависимости изменения напряжения сдвига от скорости сдвига — кривую течения.

**Аппаратура.** Реологическая зависимость расплавов полимеров определяется на приборе ИИРТ, который используется как капиллярный грузовой вискозиметр (см. рис. 1.2).

**Проведение испытания.** Включают прибор в электросеть, устанавливают по шкале прибора значение температуры испытания (по табл. 1.1) и включают электрообогрев камеры. Устанавливают капилляр в цилиндр.

С целью получения истинных значений напряжения сдвига с учетом входовых потерь в капилляре при измерении применяются сменные капилляры различной длины и одинакового диаметра: диаметр отверстия капилляра — 2,15 мм, длина капилляра — 7,87 или 15,815 мм.

*Примечание.* Для исключения ошибки в измерениях перед проведением работы размеры капилляров уточняются. Измеряются длина капилляров и диаметры отверстий.

В цилиндр помещают капилляр и контрольный термометр. После установления заданной температуры термометр вынимают и загружают полимер на  $\frac{3}{4}$  глубины цилиндра, периодически уплотняя специальным штоком. Поршень вместе с цангой опускают вниз и устанавливают в канале цилиндра примерно на  $\frac{1}{3}$  его длины, после чего всю систему термостатируют в течение 15 мин.

На держатель устанавливают груз, срезают выдавленную часть ножом и одновременно включают секундомер. Получив 4—5 образцов полимера при постоянном грузе за определенный промежуток времени, устанавливают другой груз. Таким образом проводят измерения при 5—6 различных грузах. Время выдавливания навески полимера выбирают с таким расчетом, чтобы масса жгутика была равна 0,5—1 г.

Образцы выдавленного полимера не должны содержать воздушных включений.

Разделив массу выдавленного полимера на время выдавливания при данной температуре, определяют секундный расход расплава. Если секундные расходы для данного груза отличаются более чем на 5 %, то измерения повторяют.



Аналогичные измерения производят на капилляре другой длины. При этом на капилляре большей длины массу грузов нужно увеличить, т. е. закончить выдавливание при большей массе грузов, чем при выдавливании через короткий капилляр.

В случае если нужно будет рассчитать энергию активации вязкого течения, исследования проводят при двух различных температурах, отличающихся на 30—40 °С.

После окончания испытания поршень вынимают и производят очистку прибора (поршня, цилиндра, капилляров).

**Обработка результатов.** В рабочих журналах фиксируются наименование и марка материала, температура текучести. Результаты эксперимента заносятся в табл. 1.4.

Таблица 1.4. Результаты испытаний

Температура, °С	Капилляр: $l_1, d_1$ , см				Капилляр: $l_2, d_2$ , см			
	масса груза, кг	время истечения, с	масса выдавленного полимера, г	секундный массовый расход, г/с	масса груза, кг	время истечения, с	масса выдавленного полимера, г	секундный массовый расход, г/с

Для определения истинного значения напряжения сдвига необходимо учитывать входные потери в капилляре. Для этого строится зависимость расхода расплава  $Q$  от нагрузки  $P$  в логарифмических координатах для капилляров различной длины ( $l_1$  и  $l_2$ ) (рис. 1.3).

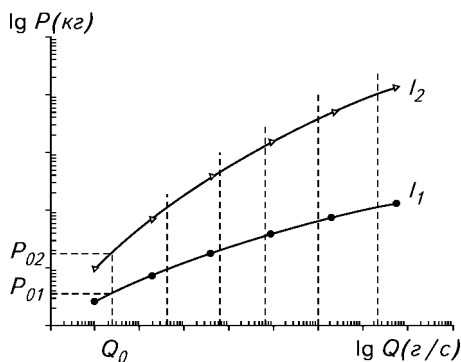


Рис. 1.3. Зависимость расхода расплава полимера  $Q$  от груза  $P$  в логарифмических координатах

Далее для нахождения расчетных значений берется произвольно несколько сечений (не менее 8—10) при различных  $Q = \text{const}$  и находятся значения нагрузки  $P_1$  и  $P_2$  для капилляров с  $l_1$  и  $l_2$ , соответствующие каждому выбранному значению  $Q_i$ .

Напряжения сдвига ( $\Pi$ ) для каждого выбранного значения  $Q_i$  рассчитывают по уравнению

$$\tau_w = \frac{(P_{i2} - P_{i1})r \cdot 9,8}{2\pi(l_2 - l_1)R_{\text{п}}^2 \cdot 10^{-4}} = (P_{i2} - P_{i1})M, \quad (1.9)$$

где  $P_{i1}$  и  $P_{i2}$  — нагрузка для короткого (1) и длинного (2) капилляров, кг;  $l_1$  и  $l_2$  — длина капилляров, см;  $r$  — радиус капилляра, см;  $R_{\text{п}}$  — радиус поршня (для прибора ИИРТ  $R_{\text{п}} = 0,474$  см);  $M = \frac{9,8r}{2\pi(l_2 - l_1)R_{\text{п}}^2 \cdot 10^{-4}}$ .

Для расчета показателя степени  $n$  [см. уравнение (1.1)] нужно определить коэффициент  $K$  реологического уравнения, который численно равен напряжению сдвига при скорости сдвига, равной единице. Это условие выполняется при расходе расплава, равном значению

$$Q_0 = r_p \rho r^3 / 4, \quad (1.10)$$

где  $r_p$  — плотность расплава при температуре испытаний, г/см<sup>3</sup>.

На рис. 1.3 линии интерполируются до значения объемного расхода  $Q_0$ , при котором находятся значения груза  $P_{01}$  и  $P_{02}$ , после чего рассчитывают коэффициент  $K$ :

$$K = (P_{02} - P_{01})M. \quad (1.11)$$

Для определения показателя степени  $n$  используются напряжение сдвига  $\tau_i$  при выбранных значениях  $Q_i$  и величина  $K$ . Расчет производят по уравнению

$$n = \frac{\lg(\tau_w / K)}{\lg(Q_i / Q_0)}. \quad (1.12)$$

Градиент скорости сдвига ( $c^{-1}$ ) с учетом аномалии вязкости рассчитывается по уравнению

$$\gamma_w = \frac{(1 + 3n)Q}{\pi r^3 \rho_p} = \frac{(1 + 3n_i)Q_i}{n_i \Phi}, \quad (1.13)$$

где  $Q_i$  — секундный расход расплава в выбранном сечении, г/с;  $\Phi = \pi r_p r$ .

Эффективная вязкость (Па · с) определяется по формуле

$$\eta_{\text{эф}} = \tau_w / \dot{\gamma}_w \quad (1.14)$$

Полученные расчетные данные заносятся в табл. 1.5 и на логарифмической миллиметровой бумаге строятся зависимости  $\tau_w = f(\dot{\gamma}_w)$  и  $\eta_{\text{эф}} = f(\dot{\gamma}_w)$ .

На основании проведенных испытаний и выполненных расчетов делается заключение о реологических свойствах расплавов полимеров и пригодности их к переработке тем или иным методом.

**Таблица 1.5. Экспериментальные и расчетные значения реологических характеристик полимера при температуре  $T$ , °С**

Расход, г/с	Нагрузка		$\tau_w$ , Па	$n$	$\dot{\gamma}_w$ , 1/с	$\eta_{\text{эф}}$ , Па · с
	$P_1$ , кг	$P_2$ , кг				

## Глава 2

---

### ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛАСТМАСС

Технологические свойства полимерных материалов характеризуют их способность к переработке в изделия. Точное знание технологических показателей материала необходимо для наиболее рационального выбора технологического режима переработки и получения высококачественных изделий. Общими для большинства методов переработки пластмасс технологическими параметрами являются объемные характеристики, сыпучесть, гранулометрический состав, содержание влаги и летучих, а также температурные характеристики, текучесть, усадка и таблетуемость.

#### 2.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Объемные характеристики порошкообразных и гранулированных материалов важны для выполнения расчетов загрузочных камер пресс-форм, определения объемов бункеров перерабатывающего оборудования и емкостей, предназначенных для хранения и транспортировки сырья. Важнейшие показатели, характеризующие объемные свойства материалов: насыпная плотность, удельный объем, коэффициент уплотнения. Объемные характеристики порошкообразных и гранулированных полимерных материалов зависят от плотности и формы отдельных частиц, гранулометрического состава, влажности, а также условий транспортировки и продолжительности хранения сырья.

#### ***Работа 4. Определение насыпной плотности и удельного объема***

Работа выполняется согласно ГОСТ 11035.1—93 (ИСО 60-77). Пластмассы. Определение насыпной плотности формовочного материала.

**Цель работы:** ознакомиться с методикой определения насыпной плотности и удельного объема.

**Сущность метода.** *Насыпная плотность* (кг/м<sup>3</sup>) выражается массой единицы объема свободно насыпанного в емкость материала.

*Удельный объем* (м<sup>3</sup>/кг) выражается объемом единицы массы свободно насыпанного материала. Эти две характеристики связаны между собой обратно пропорциональной зависимостью.

Для проведения испытания необходимы: коническая воронка, укрепленная на штативе, и измерительный цилиндр.

**Проведение испытания.** Согласно ГОСТ 11035.1—93 испытуемый порошкообразный или гранулированный материал засыпают в коническую воронку, укрепленную на штативе над измерительным цилиндром на расстоянии 20—30 мм, предварительно закрыв нижнее отверстие воронки. Объем измерительного цилиндра 100 см<sup>3</sup>, внутренний диаметр 45 мм. Цилиндр и воронку изготавливают из стекла или металла. Диаметр нижнего отверстия воронки 35 мм.

Затем нижнее отверстие воронки вновь открывают и дают материалу высыпаться в предварительно взвешенный измерительный цилиндр. Постукивание и встряхивание цилиндра не допускается. Избыток материала срезают ножом вровень с краем цилиндра, и наполненный сосуд взвешивают с точностью до 0,1 г.

Правила обработки и оформления результатов работ, описанных в главе 2, представлены в конце этой главы.

Насыпную плотность  $\rho_n$  (кг/м<sup>3</sup>) и удельный объем  $v_n$  (м<sup>3</sup>/кг) рассчитывают по формулам

$$\rho_n = \frac{m_2 - m_1}{V}; \quad v_n = \frac{V}{m_2 - m_1}, \quad (2.1)$$

где  $m_1$  — масса измерительного цилиндра, кг;  $m_2$  — суммарная масса пробы и измерительного цилиндра, кг;  $V$  — вместимость измерительного цилиндра, м<sup>3</sup>.

За окончательный результат принимают среднее арифметическое значение из результатов двух измерений.

### **Работа 5. Определение коэффициента уплотнения**

Работа выполняется согласно ГОСТ 11234—91 (ИСО 171-80). Пластмассы. Определение коэффициента уплотнения формовочных материалов.

**Цель работы:** ознакомиться с методикой определения коэффициента уплотнения.

**Сущность метода.** *Коэффициент уплотнения* характеризует изменение объема формовочной массы, происходящее в процессе ее формования, и представляет собой отношение плотности материала в отформованном виде к насыпной плотности сырья.

**Проведение испытания.** Определяют насыпную плотность сырья (см. работу 4), затем определяют плотность материала в отформо-

ванном изделии одним из трех методов, описанных в ГОСТ 15139—69, например гидростатическим взвешиванием и замером размеров взвешиваемого образца.

**Обработка результатов.** Согласно ГОСТ 11234—91 коэффициент уплотнения  $K_{упл}$  полимерных композиций вычисляют по формуле

$$K_{упл} = c_1/c, \quad (2.2)$$

где  $c_1$  — насыпная плотность сырья, определенная по ГОСТ 11035.1—93, кг/м<sup>3</sup>;  
 $c$  — плотность материала в отформованном изделии, кг/м<sup>3</sup>.

## 2.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ДИСПЕРСНОСТИ И ОДНОРОДНОСТИ (ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА) ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Гранулометрический состав полимерных материалов характеризуется наличием частиц разных размеров, т. е. дисперсностью и степенью дисперсности. Величину частиц гранулированных и порошкообразных материалов измеряют в миллиметрах или микрометрах. Степень дисперсности (%) показывает наличие частиц определенного размера в данном количестве порошка. Однородность порошка (по крупности частиц) характеризуется разницей в размерах отдельных частиц. Чем меньше разница, тем однороднее материал и наиболее пригоден для переработки его в изделия. От степени дисперсности и однородности полимерного материала зависят удельный объем, сыпучесть и физико-механические показатели. Степень дисперсности определяют обычно ситовым анализом. Величину частиц можно определить микрометрическим методом.

### *Работа 6. Определение степени дисперсности*

**Цель работы:** ознакомиться с методикой определения степени дисперсности.

**Сущность метода.** Ситовый анализ заключается в разделении пробы материала по фракциям путем просеивания через набор сит с различными ячейками и определении остатка на каждом сите. Для просеивания используют стандартные сита (ГОСТ 3584—73) высотой 25—50 мм и диаметром 200 мм, затянутые металлической сеткой с квадратными отверстиями. Сита имеют поддон для приема материала, прошедшего через сито, и крышку, предохраняющую от потерь тонких фракций материала.

**Проведение испытания.** Отвешивают 50 г испытуемого материала, переносят его на чистое сухое сито, предварительно вставленное в поддон. Сито закрывают крышкой и материал просеивают

при помощи потряхивания. Материал, прошедший через сито, подвергают дальнейшему просеиванию через сито с меньшим размером ячеек. Фракцию, оставшуюся на сите, высыпают в приемник или на лист бумаги, после чего сито очищают щеткой с обеих сторон и легкими ударами ладони по обечайкам удаляют застрявшие в сетке частицы, которые присоединяют к крупной фракции. Фракции, полученные после указанных операций, взвешивают с точностью до 0,01 г и рассчитывают содержание каждой фракции в процентах. Потери при ситовом анализе не должны превышать 1 % от общего количества испытуемого материала.

**Обработка результатов.** Массовую долю остатка на сите  $w$  (%) с заданным размером отверстий вычисляют по формуле

$$\omega = \frac{m \cdot 100}{m_1}, \quad (2.3)$$

где  $m$  — масса остатка материала на сите, г;  $m_1$  — общая масса взятого для просеивания порошка, г.

### 2.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЫПУЧЕСТИ

*Сыпучесть* характеризуется способностью полимерного материала равномерно истекать через отверстие заданного диаметра. На сыпучесть существенное влияние оказывают плотность, влажность, гранулометрический состав, а также форма частиц, величина внутреннего трения в материале, величина электростатического заряда. Порошкообразные и гранулированные материалы, обладающие плохой сыпучестью, при хранении быстро слеживаются и застревают на стенках бункеров перерабатывающего оборудования, в результате чего нарушается равномерность его питания.

Сыпучесть характеризуется скоростью высыпания материала через отверстие конической воронки или углом естественного откоса.

#### **Работа 7. Определение сыпучести по времени опорожнения стандартной воронки**

Работа выполняется согласно ГОСТ 25139—93 (ИСО 6186—80). Пластмассы. Метод определения сыпучести.

**Цель работы:** ознакомиться с методикой определения сыпучести по времени опорожнения стандартной воронки.

**Сущность метода.** Скорость высыпания материала определяют обычно на приборе, представляющем собой конусную воронку с отверстием, перекрываемым заслонкой. Угол конусности воронки  $60^\circ$ , диаметр цилиндрического отверстия 10 мм (для порошкообразных материалов) и 25 мм (для гранулированных материалов).

**Проведение испытания.** В закрытую воронку помещают заданное количество материала, после чего, открыв нижнее отверстие и одновременно включив секундомер, дают материалу свободно высыпаться. Время в секундах, в течение которого высыпается загруженная порция, определяет величину сыпучести.

Сыпучесть  $c_1$  (г/с) подсчитывают по формуле

$$c_1 = m/t, \quad (2.4)$$

где  $m$  — масса навески, г;  $t$  — время высыпания навески, с.

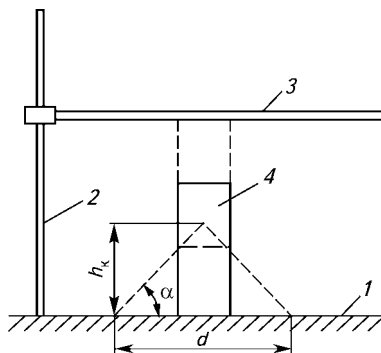
Испытания проводят три раза и находят среднее арифметическое значение сыпучести из результатов трех измерений. Отклонение от среднего арифметического не должно превышать  $\pm 1$  с. Для объемного дозирования пригоден порошок с сыпучестью не ниже 10 г/с.

### **Работа 8. Определение сыпучести по углу естественного откоса**

Работа выполняется согласно ГОСТ 25139—93 (ИСО 6186—80). Пластмассы. Метод определения сыпучести.

**Цель работы:** ознакомиться с методикой определения сыпучести по углу естественного откоса.

**Сущность метода.** Метод основан на измерении угла между горизонтальной плоскостью и образующей конуса, самопроизвольно создаваемого сыпучим материалом. Чем выше сыпучесть материала, тем меньше угол естественного откоса. Угол естественного откоса у порошкообразных и гранулированных полимерных материалов составляет, как правило, от 30 до 50°. Для определения угла



**Рис. 2.1.** Схема измерения высоты конуса, образованного сыпучим материалом:

1 — основание; 2 — стойка; 3 — подвижная планка; 4 — полый цилиндр



естественного откоса можно использовать приспособление, показанное на рис. 2.1.

Приспособление состоит из основания 1 (с нанесенными через каждый 10 мм концентрическими окружностями диаметром от 100 до 500 мм), стойки 2 со шкалой измерения высоты, подвижной планки 3, способной перемещаться в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

**Проведение испытания.** Полый цилиндр 4 (диаметром 100 мм и высотой 300 мм) устанавливают на основание 1, совместив его с окружностью диаметром 100 мм, засыпают в него 2 л полимерного материала и строго вертикально поднимают цилиндр. Рассыпаясь, материал приобретает форму, близкую к конической. С помощью планки 3 на вертикальной стойке фиксируют высоту конуса  $h_k$ . Диаметр основания конуса  $d$  определяют с помощью концентрических окружностей.

Значение угла естественного откоса  $\alpha$  вычисляют по формуле

$$\alpha = \arctg \frac{2h_k}{d}, \quad (2.5)$$

где  $h_k$  — высота конуса, мм;  $d$  — диаметр основания конуса, мм.

За окончательный результат принимают среднее арифметическое значение из результатов 5—6 измерений.

## 2.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ВЛАГИ

Содержание влаги часто определяют при техническом анализе сырья, вспомогательных материалов, готовой продукции. Такое определение необходимо для правильного расчета содержания основного компонента анализируемого продукта.

Содержание влаги в сырье — один из важных показателей качества сырья. Наличие влаги сверх нормы является причиной брака изделий, а также ведет к увеличению времени выдержки при переработке. Существует несколько методов определения содержания влаги в полимерных материалах. Для каждого конкретного случая метод определения влаги указан в стандарте на материал.

### *Работа 9. Определение влаги высушиванием*

**Цель работы:** ознакомиться с методикой определения влаги методом высушивания.

**Сущность метода** заключается в определении массовой доли воды в веществе после его высушивания до постоянной массы.

Этим методом обычно определяют кристаллизационную и гигроскопическую влагу.

**Проведение испытания.** Для проведения испытания необходимы: бюкс, крышка, аналитические весы, сушильный шкаф. В предварительно взвешенный чистый и сухой бюкс помещают вещество массой  $\sim(5, 10)$  г, закрывают крышкой и взвешивают на аналитических весах. Навеску определяют по разности между массой бюкса с навеской и массой пустого бюкса. Затем помещают бюкс в сушильный шкаф с приоткрытой крышкой и доводят содержимое до постоянной массы. Если два последовательных взвешивания после высушивания в течение 30 мин дают разницу, не превышающую 0,0005 г, то масса вещества считается постоянной.

Вынимают бюкс из сушильного шкафа и помещают в эксикатор на 30 мин, чтобы он принял температуру комнаты, затем снова взвешивают. Условия высушивания каждого вещества описаны в стандартах.

Содержание воды  $w$  [% (мас.)] вычисляют по формуле

$$\omega = \frac{m - m_1}{m} \cdot 100, \quad (2.6)$$

где  $m$  — масса навески вещества, г;  $m_1$  — масса вещества после сушки, г.

## 2.5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДОПОГЛОЩЕНИЯ

*Водопоглощение* — это количество воды, поглощенной образцом в результате пребывания его в холодной или кипящей воде в течение точно установленного времени при определенной температуре. Водопоглощение выражают в миллиграммах или процентах, оно может быть определено для всех видов пластических масс.

### **Работа 10. Определение водопоглощения в холодной воде**

Работа выполняется согласно ГОСТ 4650—80. Пластмассы. Методы определения водопоглощения.

**Цель работы:** ознакомиться с методикой определения водопоглощения в холодной воде.

**Сущность метода** заключается в определении количества воды, поглощенной образцом в результате пребывания его в холодной воде в течение точно установленного времени при определенной температуре.

**Проведение испытания.** Для проведения испытаний необходимы: термощкаф, эксикатор и аналитические весы. Образцы для

испытания изготавливают прессованием или литьем под давлением в виде дисков диаметром  $50 \pm 1$  мм и толщиной  $3 \pm 0,2$  мм.

Если для испытаний предназначается листовой или слоистый материал, то из него вырезают образцы в виде квадрата со сторонами, равными  $50 \pm 1$  мм. Толщина образца не регламентируется и принимается равной толщине листа испытываемого материала.

Перед проведением испытания образцы высушивают в термощкафу в течение 24 ч при  $50 \pm 3$  °С. Образцы пластмасс, стойких к температуре до 110 °С, высушивают при  $105 \pm 3$  °С в течение 1 ч, после сушки охлаждают в эксикаторе над хлоридом кальция и взвешивают каждый с точностью до 0,001 г. Затем их помещают в сосуд и наливают в него дистиллированную воду так, чтобы образцы полностью были покрыты водой, не соприкасались друг с другом и со стенками сосуда. Выдерживают в воде при температуре  $22 \pm 10$  °С в течение 24 ч. Затем вынимают из воды, вытирают фильтровальной бумагой и по истечении не более 1 мин после извлечения из воды взвешивают. Продолжительность взвешивания должна быть не более 3 мин.

### **Работа 11. Определение водопоглощения в кипящей воде**

Работа выполняется согласно ГОСТ 4650—80. Пластмассы. Методы определения водопоглощения.

**Цель работы:** ознакомиться с методикой определения водопоглощения в кипящей воде.

**Сущность метода** заключается в определении количества воды, поглощенной образцом в результате пребывания его в кипящей воде в течение точно установленного времени при определенной температуре.

**Проведение испытания.** Образцы высушивают в термощкафу, охлаждают в эксикаторе и взвешивают, как указано в предыдущем определении, затем погружают в сосуд с кипящей дистиллированной водой и выдерживают в течение  $30 \pm 1$  мин.

Для охлаждения образцы переносят в сосуд с дистиллированной водой при температуре  $22 \pm 1$  °С. После охлаждения образцы вынимают из сосуда, вытирают фильтровальной бумагой и по истечении не более 1 мин после извлечения из воды взвешивают.

Водопоглощение вычисляют в миллиграммах привеса образца  $c_1$  или в процентах к массе высушенного образца до погружения его в воду  $c_2$  по формулам

$$c_1 = m_1 = m; \quad \chi_2 = \frac{\chi_1 \cdot 100}{m}, \quad (2.7)$$

где  $m$  — масса высушенного образца до погружения его в воду;  $m_1$  — масса образца после пребывания в воде.

За результат принимают среднее арифметическое из трех определений водопоглощения и вычисляют его с точностью до 0,01 г или до 1 %.

## 2.6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕКУЧЕСТИ

*Текучесть* характеризует способность материала к переработке, т. е. способность пластмасс при определенных температуре и давлении заполнять формирующие полости пресс-формы. Текучесть — условный показатель, для его определения могут быть применены различные методы.

На основании данных о текучести материалов определяют удельное давление при прессовании или литье изделий. Применяемое удельное давление обратно пропорционально текучести: чем выше текучесть, тем меньше должно быть удельное давление, и наоборот. Низкая текучесть дает недооформленное изделие, а чрезмерно высокая текучесть приводит к вытеканию массы из пресс-формы. Из материала с высокой текучестью формируют тонкостенные изделия сложной конфигурации или изделия с арматурой.

Текучесть термореактивных материалов зависит от природы полимера, вида и качества наполнителя, присутствия пластификатора, смазывающих веществ и других добавок. С увеличением содержания наполнителей, особенно крупнозернистых и длинноволокнистых, текучесть пластмассы уменьшается пропорционально содержанию наполнителей. Для повышения текучести наполненных пластмасс в них добавляют смазывающее вещество (стеарин, олеиновую кислоту и др.).

Для освоения методики определения показателя текучести термопласта служит приведенная выше работа 1.

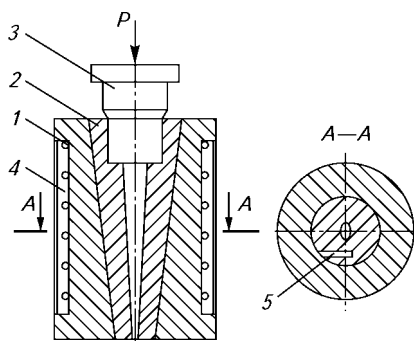
### ***Работа 12. Определение текучести термореактивных пресс-материалов***

**Цель работы:** ознакомиться с методикой определения текучести термореактивного пресс-материала по методу Рашига.

**Сущность метода** заключается в определении длины отпрессованного стержня.

**Оборудование:** пресс гидравлический, съемная пресс-форма (рис. 2.2).

Пресс-форма состоит из обоймы 1 (см. рис. 2.2), в которую вставляют два вкладыша 2, соединяемых штифтами 5 и образующих загрузочную камеру и измерительный канал. Давление в камере создается пуансоном 3. Корпус (обойма) пресс-формы обо-



**Рис. 2.2. Пресс-форма для измерения текучести по Рашигу:**

1 — обойма; 2 — вкладыши; 3 — пуансон; 4 — нагреватель; 5 — штифт

гревается электронагревателями 4. Измерительный канал имеет овальное сечение (см. сечение А—А), размеры которого уменьшаются по ходу движения нагретого пресс-материала.

**Проведение испытания.** Для определения текучести термореактивного полимера навеску его в виде порошка или таблетки помещают в загрузочную камеру пресс-формы, которую предварительно нагревают до температуры испытания. Затем за 20 с опускают пуансон, в камере создается давление  $30 \pm 2,5$  МПа. Время выдержки пресс-материала под давлением составляет 180 с. В течение этого времени пресс-материал, находящийся в вязкотекучем состоянии, течет по измерительному каналу, заполняя его на соответствующую длину. После окончания выдержки снимают давление, разбирают пресс-форму и отделяют вкладыши 2 друг от друга. За текучесть по Рашигу принимают величину (мм), равную длине отпрессованного стержня от основания загрузочной камеры до его плотной части.

## 2.7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСАДКИ

*Усадкой* называют уменьшение размеров отформованного изделия при его охлаждении по отношению к размерам формы. Усадка обуславливается изменением структуры термопластов или за счет реакции поликонденсации реактопластов вследствие выделения влаги и летучих веществ в окружающую среду после съема изделия, а также за счет разницы температурных коэффициентов расширения пластмасс и металла формы. Расчетную усадку учитывают при конструировании пресс-форм.

### Работа 13. Определение усадки

Работа выполняется согласно ГОСТ 18616—80. Пластмассы. Метод определения усадки.

**Цель работы:** ознакомиться с методикой определения усадки.

**Оборудование:** пресс гидравлический, пресс-форма для изготовления диска или бруска, штангенциркуль (микрометр).

**Сущность метода** заключается в сравнении при температуре 20 °С размеров отформованного образца (диска или бруска) с размерами пресс-формы.

Размеры пресс-формы для определения усадки реактопластов (рис. 2.3) установлены ГОСТ 5689—79. В пресс-форме поршневого типа поверхность оформляющей полости должна быть хромирована и отполирована.

Режим формования образца (температура, давление и т. д.), требования к его внешнему виду указываются в ГОСТе и ТУ на материал. Испытания образцов должны проводиться не ранее чем через 16 ч с момента их изготовления.

**Проведение испытания.** Испытание проводят на пяти образцах, полученных последовательным формованием в одном гнезде формы. Размеры образца измеряют штангенциркулем с точностью до 0,01 мм. Контрольные замеры оформляющей полости пресс-формы производят один раз в месяц.

Усадку  $Y$  (%) вычисляют по формуле

$$Y = \frac{(l - l_1) \cdot 100}{l}, \quad (2.8)$$

где  $l$  — размер матрицы пресс-формы, мм;  $l_1$  — размер отформованного образца, мм.

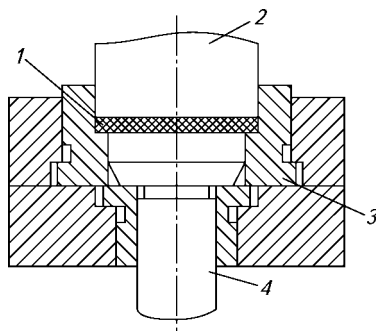


Рис. 2.3. Пресс-форма для определения усадки пресс-материалов (изделие — диск):

1 — диск-эталон; 2 — пуансон; 3 — матрица; 4 — выталкиватель

## 2.8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРЕСС-МАТЕРИАЛОВ

Основные технологические характеристики термореактивных пресс-материалов — вязкость (текучесть), скорость отверждения, структурно-механические свойства материала в изделии — определяют на пластометре системы Канавца. Пластометр предназначен для оценки качества термореактивных пресс-материалов при их изготовлении и переработке в изделия, а также для испытания готовой продукции.

Явление отверждения характерно только для термореактивных материалов и связано с переходом полимера в неплавкое и нерастворимое состояние под влиянием температуры. Скорость отверждения зависит как от природы и свойств материала, так и от многих технологических факторов (предварительного подогрева, подпрессовок и т. д.).

### **Работа 14. Определение скорости отверждения или времени выдержки**

**Цель работы:** ознакомиться с методикой определения скорости отверждения.

**Оборудование:** пресс гидравлический, пресс-форма для изготовления конусного стаканчика.

**Сущность метода** заключается в определении минимального времени выдержки, в течение которого будут получены качественные стаканчики.

**Проведение испытания.** Скорость отверждения определяют по опытной запрессовке конусного стаканчика (рис. 2.4) в пресс-форме при режимах, указанных в ГОСТе на соответствующие пресс-материалы.

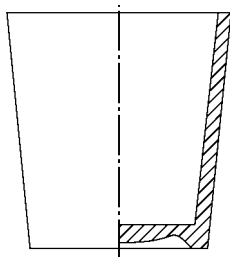


Рис. 2.4. Конусный стаканчик для определения скорости прессования (времени выдержки)

Отсчет времени выдержки ведут с момента смыкания пресс-формы до момента ее размыкания по окончании прессования. Минимальное время, совпадающее для трех образцов, в течение которого будут получены качественные стаканчики (без вздутий на боковой поверхности и на дне, а также без недопрессовок), отнесенное к толщине образца, считается *скоростью отверждения* и выражается в с/мм.

### **Работа 15. Определение пластично-вязких свойств и кинетики отверждения термореактивных пресс-материалов на пластометре Канавца**

Работа выполняется согласно ГОСТ 15882—84. Пластмассы. Метод определения пластично-вязких свойств и кинетики отверждения реактопластов.

**Цель работы:** ознакомиться с методикой определения технологических характеристик термореактивных пресс-материалов на пластометре Канавца (ППР-1).

**Оборудование:** пластометр системы Канавца (рис. 2.5), технические веса с погрешностью не более  $\pm 0,1$  г, секундомер по ГОСТ 5072—79.

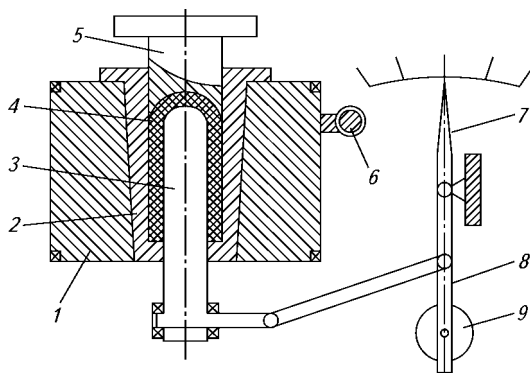
**Сущность метода.** Определяют изменение напряжения сдвига материала в процессе его деформирования, которое осуществляется в узком зазоре между двумя коаксиальными сфероцилиндрическими поверхностями пресс-формы (рис. 2.6) при заданных значениях температуры, давления и скорости сдвига.

**Проведение испытания.** Испытание проводится в следующем порядке.

1. Термореактивный материал для испытания отбирается в виде средних проб по правилам, установленным стандартом или техническими условиями на конкретный реактопласт. Масса общей пробы — не менее 200 г. Пробы должны быть в виде порошка, таблеток, гранул, крошки, волокнита и кусков размером не более 10 мм.

2. Пресс-форму устанавливают на пластометр.

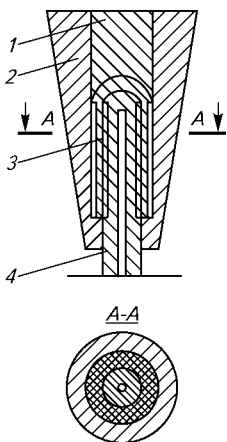
3. Устанавливают на приборном щите пластометра соответствующие параметры испытания:



**Рис. 2.5. Пластометр Канавца**

1 — корпус матрицы; 2 — вкладыш; 3 — штырь; 4 — исследуемый материал; 5 — пуансон; 6 — привод; 7 — измерительный прибор; 8 — рычаг; 9 — грузы





**Рис. 2.6. Пресс-форма пластометра Канавица:**

1 — пуансон; 2 — матрица; 3 — деталь; 4 — штырь

температура — исходя из температурного интервала переработки реактопласта;  
 давление формования —  $(35 \pm 5)$  МПа для образцов из фенопластов;  
 частота вращения ротора — 0,05 об/мин;  
 крутящий момент для определения пластично-вязких свойств — 25,09 Н · м или 75,26 Н · м, для испытания высоковязких реактопластов;  
 крутящий момент для определения кинетики отверждения — 42,63; 85,26; 170,52; 255,78 Н · м;  
 скорость протяжки диаграммной ленты — 1800 мм/ч.

4. Включают прибор и обогрев пресс-формы.
5. Массу навески  $m$  (г) для испытаний вычисляют по формуле

$$m = rV,$$

где  $r$  — плотность реактопласта, кг/м<sup>3</sup>;  $V$  — объем формируемого образца, см<sup>3</sup>.

6. Пробу реактопласта загружают в пресс-форму, нагретую до заданной температуры, опускают пуансон.

После смыкания пресс-формы включают вращение ротора, при этом автоматически включается запись результатов испытания на диаграммную бумагу. По вычерчиванию графика наблюдают за процессом испытания (рис. 2.7).

7. Кинетику отверждения на завершающей стадии определяют тогда, когда при испытании по предыдущему пункту напряжение сдвига не достигает величины  $s_x$ . Испытания проводят деформированием реактопласта после выдержки его в пресс-форме в статическом состоянии.

Последовательность времен выдержки: 0,5; 1; 2; 3; 4; 5; 7; 10; 15; 20; 30; 60; 120 мин. Для каждой выдержки проводят новую запрессовку образца.

Испытания прекращают, когда значения напряжения сдвига достигают величины  $s_x$  или когда увеличение времени выдержки не приводит к росту максимального напряжения сдвига.

8. После испытания вращение ротора выключают, вынимают пресс-форму и извлекают из нее образец.

Основные показатели, определяемые по данным одного опыта при измерении скорости отверждения, используются для оценки

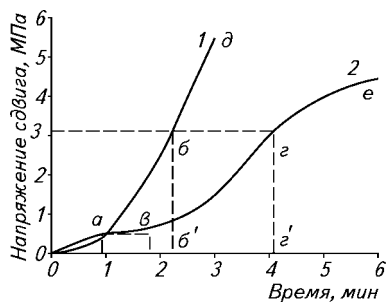


Рис. 2.7. Кинетика процесса отверждения пресс-материалов новолачного (1) и резольного (2) типов при 170 °C

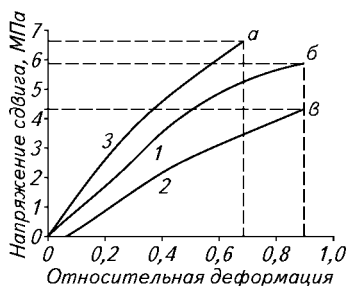


Рис. 2.8. Структурно-механические свойства пресс-материалов новолачного (1) и резольного (2) типов на начальной и конечной стадии отверждения (3) при 170 °C

качества пресс-материалов, установления режима формования и определения минимальной выдержки при прессовании изделий.

Вспомогательные показатели — коэффициент вязкости и структурно-механические свойства — позволяют установить оптимальный технологический режим изготовления и переработки пресс-материалов в изделия.

**Обработка результатов эксперимента** осуществляется следующим образом.

Показатели, характеризующие технологические и структурно-механические свойства пресс-материала, вычисляют по данным, записанным прибором на графиках (см. рис. 2.7, 2.8), или по данным отсчетов на шкале прибора.

Вязкость рассчитывается по формуле

$$h = As_{пл},$$

где  $A$  — постоянная прибора, зависящая от геометрических размеров пресс-формы, динамометра и скорости вращения пресс-формы;  $s_{пл}$  — напряжение сдвига на стадии пластично-вязкого состояния, МПа.

Напряжение сдвига определяют по максимальной высоте кривой либо по высоте горизонтального участка кривой, либо умножением числа делений шкалы прибора на цену деления.

Продолжительность вязкотекучего состояния (в секундах) определяется длиной отрезков  $0a$  и  $0b$  на рис. 2.7, что соответствует резкому подъему кривой 1.

Если участок кривой не параллелен оси абсцисс, но близок к ней и имеет вид монотонно возрастающей кривой, то величину напряжения сдвига получают, проектируя среднюю точку участка на ось ординат.

Время пластично-вязкого состояния определяют по рис. 2.7 отрезком  $0a$ , соответствующим времени, при котором значение напряжения сдвига, характеризующее процесс установившегося течения, возрастает на величину  $Ds_1$ , равную 0,03 МПа.

Показатели кинетики отверждения определяют по графикам, представленным на рис. 2.7 и 2.8.

Цену деления по оси ординат ( $Ds$ ) выбирают исходя из данных табл. 2.1.

**Таблица 2.1. Цена деления шкалы при определении показателей кинетики отверждения**

Крутящий момент, Н · м	Цена деления, МПа
42,63	0,028
85,26	0,05
170,52	0,11
255,78	0,16

Время отверждения определяют по рис. 2.7 отрезком  $0t_{\text{отв}}$ , соответствующим времени, при котором напряжение сдвига достигает величины  $s_x$ .

Если при непрерывном деформировании значение напряжения сдвига не достигнет  $s_x$ , то время отверждения определяют по графику на рис. 2.7 (т. б). Для этого график дополняют значениями максимального напряжения сдвига (т. а), полученными при испытаниях по пункту 7 (см. подраздел «Проведение испытания»), которым на оси абсцисс соответствует сумма времени выдержки без деформирования времени испытания до достижения максимального напряжения сдвига.

Время полного отверждения определяют как время, при котором напряжение сдвига достигает максимального значения.

За результат испытания принимают среднее арифметическое двух определений, расхождение между которыми не должно быть более 5 %.

Результаты испытаний оформляются протоколом, в котором дают оценку технологическим и структурно-механическим свойствам испытуемого материала в изделии.

## **2.9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТАБЛЕТИРУЕМОСТИ ПРЕСС-МАТЕРИАЛОВ**

Под *таблетуруемостью* понимают способность пресс-материала уплотняться под действием давления (усилия таблетирования) с последующим сохранением формы. Таблетки имеют определенную массу, размеры и конфигурацию. Наибольшее распространение получили таблетки цилиндрической формы заданных диаметра и высоты.

На таблетированность пресс-материала оказывает влияние его гранулометрический состав и коэффициент уплотнения. Тонко-дисперсные пресс-порошки требуют больших усилий таблетирования. Таблетированность пресс-порошков улучшается с повышением влажности. Уплотнение материала производится при комнатной температуре и давлении 70—120 МПа.

Таблетированность имеет большое практическое значение, так как дает возможность сократить удельный объем пресс-материала, а значит, уменьшить объем загрузочных камер пресс-форм, снижается их масса и стоимость, сокращаются потери сырья при транспортировке и взвешивании. Таблетированный материал нагревается быстрее и равномернее, что облегчает процесс формования изделия и повышает его качество.

### **Работа 16. Определение таблетированности пресс-материала**

**Цель работы:** ознакомиться с методикой определения таблетированности пресс-материала.

**Сущность метода** заключается в определении плотности и прочности спрессованного при разном давлении пресс-материала.

**Проведение испытания.** Для проведения работы необходимы пресс-форма, позволяющая получать таблетки диаметром 20 мм и высотой до 15 мм, гидравлический пресс с номинальным усилием не менее 500 кН, разрывная машина. В пресс-форму засыпают 7,5 г пресс-порошка и устанавливают ее между плитами гидравлического пресса.

Начальное давление таблетирования составляет 30 МПа. Последующие запрессовки проводят при давлении, превышающем предыдущее на 15 МПа. Выдержка под давлением должна быть не менее 30 с. При каждом значении давления проводят два параллельных опыта. Определяют плотность и прочность готовых таблеток. Для определения плотности измеряют штангенциркулем диаметр и высоту таблетки с точностью до 0,1 мм, а затем взвешивают ее на технических весах с точностью до 0,01 г.

Плотность ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ) определяют по формуле

$$\rho = G/V, \quad (2.9)$$

где  $G$  — масса таблетки, кг;  $V$  — объем таблетки,  $\text{м}^3$ .

Прочность таблетки проверяют на разрывной машине путем вдавливания в материал шарика диаметром 5,5 мм. За прочность таблетки принимают усилие, при котором происходит ее разрушение. Таблетки считаются пригодными для переработки, если их прочность не ниже 8 МПа.

Результаты опыта выражают в виде графиков в координатах «прочность (плотность) таблетки — давление таблетирования».

**Оформление результатов измерений.\***

В отчете приводятся:

- 1) цель работы и задачи;
- 2) теоретическое введение (сущность метода);
- 3) описание установки, приборов, материалов, схем, инструмента, реактивов;
- 4) методика выполнения работы с указанием ГОСТов, по которым выполнялись те или иные измерения;
- 5) обработка результатов работы;
- 6) анализ результатов работы (выводы);
- 7) список литературы.

Оформление отчета (текста, заголовков, таблиц, графиков, рисунков) производится при соблюдении ГОСТ 2.105—95.

---

\* Этот подраздел («Оформление результатов измерений») относится ко всем работам главы 2.

## **Глава 3**

---

### **ПЕРЕРАБОТКА ПОЛИМЕРОВ В ИЗДЕЛИЯ**

#### **3.1. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭКСТРУЗИИ**

##### **3.1.1. ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛИМЕРОВ МЕТОДОМ ЭКСТРУЗИИ**

Процесс экструзии заключается в непрерывном выдавливании расплава полимера через формующую головку, придании ему необходимой конфигурации с последующим охлаждением профиля или полотна. Течение расплава через формующие головки происходит под действием давления, которое создается при вращении шнека экструдера. Экструдер должен обеспечивать передвижение полимера вдоль цилиндра, его плавление и гомогенизацию расплава, а также создание в цилиндре машины гидростатического давления. Методом экструзии изготавливаются трубы, пленки, профили, сетки в основном из термопластичных полимеров — полиэтилена, полистирола, поликарбоната, поливинилхлорида и др. Поскольку процесс экструзии осуществляется непрерывно, он является наиболее прогрессивным методом изготовления изделий из пластмасс, так как позволяет производить профили с небольшими трудовыми и энергетическими затратами при незначительных потерях материалов.

При изготовлении изделий методом экструзии в полимерах протекают в основном физические процессы, например фазовые или агрегатные изменения полимера. К химическим процессам, протекающим при экструзии, можно отнести термическую и механическую деструкцию полимеров, обусловленную соответственно высокими температурами и большими сдвиговыми напряжениями, возникающими при течении расплава полимера в рабочих узлах экструдера и каналах формующей головки. При обеспечении определенных технологических параметров эти химические процессы могут быть сведены к минимуму или полностью исключены.

Назначение экструдера состоит в перемещении, уплотнении, пластикации и гомогенизации полимерной массы, направляемой в формующую головку.

Все эти технологические процессы происходят внутри материального цилиндра. Именно поэтому шнек разделен на несколько зон (рис. 3.1). Разделение шнека на зоны обусловлено ставящимися перед экструдером задачами.



Рис. 3.1. Разделение шнека на три зоны по стадиям технологического процесса

**Движение полимера в зоне питания.** В одношнековом экструдере движение материала в зоне питания (загрузки) происходит за счет сил трения между полимерной массой, стенкой цилиндра и шнеком.

В этом случае действительна следующая формулировка: чем меньше коэффициент трения между шнеком и полимером и чем выше коэффициент трения между стенкой материального цилиндра и полимером, тем лучше проходит процесс движения материала.

При правильно выбранном технологическом режиме стенки цилиндра задерживают вращение гранул полимера и они шнеком перемещаются вдоль оси. Для увеличения сил трения между полимером и цилиндром на внутренней поверхности цилиндра делают продольные или винтовые канавки. Это способствует увеличению производительности машины и улучшает стабильность ее работы. По мере продвижения под действием возникающего давления гранулы уплотняются и в последующем перемещаются в виде твердого слоя (винтовой «пробки») без пересыпания в канале шнека. Поскольку твердый слой частично проскальзывает относительно поверхности цилиндра и шнека, то движение его происходит по винтовой линии относительно оси.

**Движение полимера в зоне плавления.** Процесс перехода полимера в вязкотекучее состояние начинается на входе в зону плавления, когда вследствие теплоты трения и контакта материала с горячей поверхностью появляется слой расплава. Первоначальное появление расплава на поверхности шнека или цилиндра зависит от температуры и скорости скольжения материала, а также возникающего давления.

В данном случае нагревание зависит от тепловых потоков, обусловленных теплопроводностью и диссипацией энергии трения. Поскольку температура цилиндра поддерживается выше, чем температура шнека, расплав вначале появляется на поверхности цилиндра. На входе в зону плавления слой расплава имеет незначительную толщину и не срезается нарезкой шнека. В этом случае движение материала происходит за счет течения вязкой жидкости по поверхности цилиндра и скольжения твердого слоя гранул по поверхности шнека. Не расплавившиеся гранулы, частично уплотненные под действием давления, движутся с той же скоростью,

что и в зоне загрузки. В зависимости от этой скорости развивается профиль скоростей вязкого течения в пленке расплава на поверхности цилиндра. Поскольку объем, занимаемый гранулами, при плавении уменьшается, шнек в зоне плавления обычно изотавливают с уменьшающейся глубиной, что обеспечивает постепенное сжатие и уплотнение пористого слоя гранул. Под действием давления расплав заполняет воздушные полости между гранулами, что увеличивает коэффициент теплопроводности и повышает скорость плавления полимера. Изменение давления по длине канала шнека зависит от соотношения крутящих моментов, возникающих на поверхностях шнека и цилиндра.

На участке, где толщина слоя расплава  $Dd$  превышает радиальный зазор между нарезкой шнека и цилиндром  $d_{\text{ш}}$ , происходит срезание расплава и накопление его у набегающей (напорной) грани шнека. Расплав у напорной грани движется вокруг оси шнека и, кроме того, в нем за счет избыточного давления возникают циркуляционные потоки, как показано стрелками на рис. 3.2. Поскольку глубина канала нарезки  $h$  значительно меньше ширины, то циркуляционные вихри у напорной грани  $d_{\text{нр}}$  распространяются не по всей ширине канала, а примерно на расстояние  $l = d_{\text{нр}} = 2h$ . При этом слой расплава, находящийся между цилиндром и слоем гранул, движется со скоростью  $v_0$ .

Одним из основных параметров, влияющих на скорость плавления, является температура цилиндра, поэтому ее значение выбирается с таким расчетом, чтобы выполнялось условие: изменение толщины слоя расплава должно равняться изменению глубины нарезки шнека,  $Dd \gg Dh$  ( $Dh$  — изменение глубины канала нарезки шнека на длине  $l$ ). Это означает, что уменьшение толщины слоя гранул должно несколько опережать уменьшение глубины канала. В противном случае может произойти заклинивание слоя гранул и производительность экструдера понизится.

Из рассмотренного следует, что по мере продвижения полимера ширина и толщина слоя гранул постепенно уменьшаются, а количество расплава у напорной грани гребня шнека возрастает. На

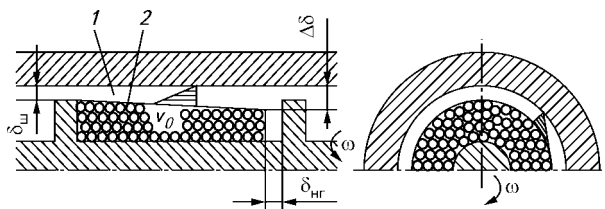


Рис. 3.2. Схема движения гранул и пленки расплава полимера в зоне плавления:

1 — расплав полимера; 2 — гранулы полимера



процесс плавления полимера влияет также теплота, выделяющаяся на поверхности шнека от трения. Когда температура на поверхности шнека достигнет температуры плавления, на ней также появляется слой расплава, что значительно ускоряет плавление.

От скорости плавления гранул в зоне сжатия в значительной степени зависит гомогенизация расплава в последующей зоне дозирования, а соответственно изменяется и качество изделий. Чем раньше заканчивается плавление, тем лучше происходит смешение расплава и выше его однородность.

**Закономерности течения расплава в зоне дозирования.** В конце зоны плавления, когда основная часть канала шнека заполнена расплавом, слой гранул разрушается на отдельные части и дальнейшее движение полимера осуществляется за счет вязкого течения. Поскольку частицы твердого полимера сравнительно невелики, то они не оказывают существенного влияния на характер течения расплава. Большинство полимеров в вязкотекучем состоянии обладает адгезией к металлам, поэтому при течении они не проскальзывают относительно поверхностей каналов. Вследствие этого расплав полимера, находящийся между неподвижным цилиндром и вращающимся шнеком, течет как неньютоновская жидкость в кольцевом цилиндрическом канале. В данном случае слой расплава, прилегающий к цилиндру, остается неподвижным, а расплав, находящийся возле шнека, вращается вместе с ним. Часть расплава, которая остается неподвижной, срезается с поверхности цилиндра винтовым выступом нарезки шнека, вследствие чего по ширине канала возникает перепад давления.

Снижение производительности от перепада давления в зоне дозирования является отрицательным явлением. Однако с ростом давления в формующей головке увеличивается время деформирования расплава и растет скорость сдвига в каналах шнека, что способствует лучшей гомогенизации расплава и, следовательно, повышению качества изделий, получаемых методом экструзии. Схема течения расплава показана на рис. 3.3. Как видно из рисунка, расплав в канале шнека совершает вращательное движение вокруг оси цилиндра со скоростью  $v_{\omega}$  и одновременно течет вдоль оси по кольцевому зазору между цилиндром и поверхностью шнека со скоростью  $v_0$ .

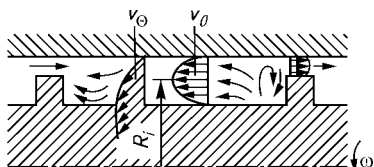


Рис. 3.3. Схема течения расплава полимера в канале зоны дозирования шнека

При этом у набегающей грани выступа нарезки образуется циркуляционный поток. Кроме того, под действием давления, возникающего у набегающей грани нарезки шнека, часть расплава перетекает через радиальный зазор между выступом

нарезки шнека и цилиндром, т. е. возникает поток утечек, который также уменьшает производительность.

Следует заметить, что расчет проводят при условии равенства массовых расходов (производительностей) в зонах загрузки ( $Q_3$ ), плавления ( $Q_{пл}$ ), дозирования ( $Q_д$ ) и формующей головки ( $Q_3$ ):

$$Q_3 = Q_{пл} = Q_д = Q_3. \quad (3.1)$$

Кроме того, учитываются условия течения расплава в головке, поскольку степень ориентации макромолекул зависит от напряжений сдвига в формующих каналах. На качество изделий влияют также процессы, происходящие после выхода экструдата из головки, в частности вытяжка расплава, обуславливающая ориентацию макромолекул.

Для приближенного расчета экструдера можно использовать метод, полученный модификацией уравнений, применяемых для ньютоновских жидкостей. Производительность рассчитывают при различных угловых скоростях вращения шнека  $\omega$  и перепадах давления в зоне дозирования (выдавливания)  $p_в$ , а затем строят рабочую характеристику, т. е. график функции  $Q_3 = j(p_в)$  (рис. 3.4). Перепад давления в зоне дозирования равен:

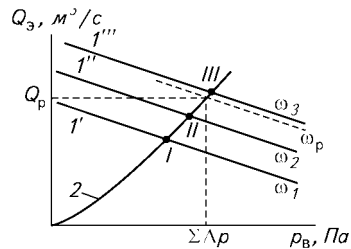
$$p_в = SDp - (Dp_3 + Dp_{пл}), \quad (3.2)$$

где  $SDp$  — потери давления в каналах формующей головки;  $Sp_3$ ,  $Sp_{пл}$  — перепады давления в зонах загрузки и плавления.

Для экструдера с продольными канавками в цилиндре  $Dp_3 + Dp_{пл} \gg 2 \cdot 10^7$  Па, а с гладким цилиндром  $Dp_3 + Dp_{пл} \gg 1 \cdot 10^7$  Па. Перепад давления в зоне дозирования определяется экспериментально по разности давления в зоне плавления и в патрубке головки (по показаниям датчиков давления). Используя значения давлений, замеренные на входе в головку при различных расходах расплава (объемной производительности), можно построить графическую зависимость  $SDp = \gamma(Q)$ , которая представляет собой характеристику головки. Совместное построение графиков по точке пересечения характеристик головки и экструдера позволяет определить рабочую точку при частоте вращения шнека  $\omega$  и найти рабочие параметры  $Q_p$  и  $SDp$  в головке (см. рис. 3.4).

**Рис. 3.4. Рабочие характеристики экструдера (1; 1а, 1б) и экструзионной головки (2):**

I, II, III — рабочие точки экструдера при различной частоте вращения шнека ( $\omega_1$ ,  $\omega_2$ ,  $\omega_3$ )



### 3.1.2. ОСНОВНЫЕ УЗЛЫ И ПРИНЦИП РАБОТЫ ЭКСТРУДера

Одношнековый экструдер состоит из материального цилиндра 2 с размещенным в нем шнеком 1, электродвигателя 6, загрузочного бункера 4 и редуктора 5 (рис. 3.5). На цилиндре устанавливаются несколько кольцевых нагревателей 3 (от 4 до 6), каждый из которых регулируется индивидуально. Как правило, в каждой зоне нагрева смонтировано охлаждающее устройство, что повышает точность регулировки температуры.

Для предотвращения преждевременного оплавления полимерной массы зона цилиндра, находящаяся в непосредственной близости от загрузочного отверстия, в процессе работы экструдера постоянно охлаждается.

**Описание основных узлов лабораторной установки.** Для исследования наиболее часто применяют лабораторные экструзионные установки фирмы «Брабандер»; общий вид установки показан на рис. 3.6. Экструзионный агрегат устанавливают на тумбе-подставке 1 и оснащают термометрами 4, которые с вторичными приборами обеспечивают измерение и регулирование температуры цилиндра. Для измерения давления расплава внутри цилиндра по зонам экструдера и на входе в головку установлены датчики давления 2. Приборы управления экструдером расположены на панели 5. Основные параметры технологического процесса регистрируются на приборах, смонтированных на щите управления 6, и вводятся в компьютер.

Для формирования листового профиля на экструдер устанавливают плоскощелевую формующую головку 3 (рис. 3.7). При необходимости калибрования экструдата, т. е. для обеспечения глянце-

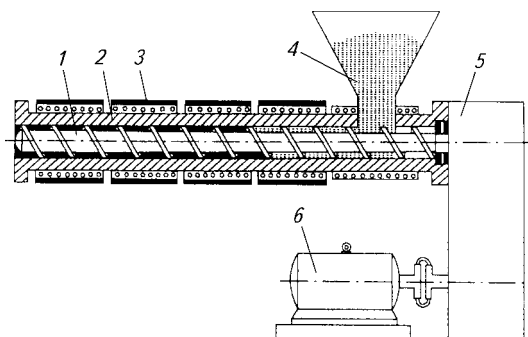
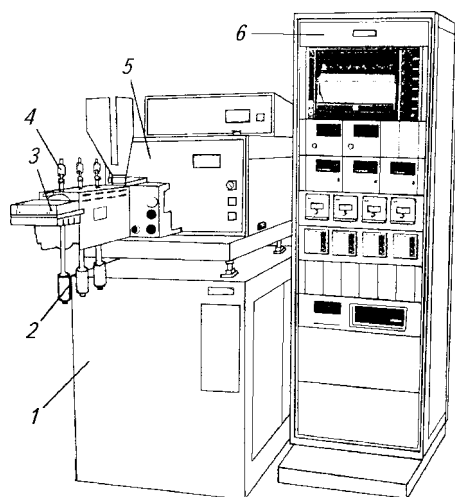


Рис. 3.5. Схематическое изображение экструдера:

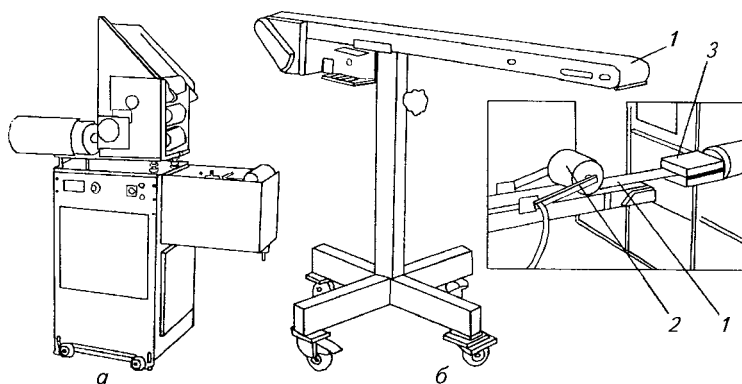
1 — шнек; 2 — материальный цилиндр; 3 — нагреватели; 4 — загрузочный бункер; 5 — редуктор; 6 — электродвигатель



**Рис. 3.6. Общий вид лабораторной экструзионной установки фирмы «Брабендер»:**

1 — тумба-подставка; 2 — датчик давления; 3 — формующая головка; 4 — термопары; 5 — панель управления; 6 — щит управления

вой поверхности и заданной толщины полотна, применяют валковое приемное устройство, которое работает как каландр и как охлаждающее устройство одновременно (рис. 3.7, а). Экструдат последовательно проходит через несколько межвалковых зазоров, где достигает необходимой толщины и приобретает гладкость поверхности.



**Рис. 3.7. Конструкция валкового (а) и ленточного (б) приемных устройств:**

1 — ленточный транспортер; 2 — прижимной ролик; 3 — формующая головка

При свободном отводе листового профиля расплав подается на ленточный транспортер 1 (рис. 3.7, б) и прижимается к ленте роликком 2. Охлаждение экструзионного полотна происходит вследствие обдува его холодным воздухом или за счет холодной воды, подаваемой внутрь прижимного ролика.

### **Работа 17. Изготовление листов методом экструзии**

**Цель работы:** ознакомиться с технологическим процессом изготовления изделий и методикой расчета технологических параметров процесса; исследовать влияние основных технологических параметров на свойства изделий; изучить методику составления технологических карт процесса.

Содержание работы:

1) изучение устройства и принципа действия экструзионной установки;

2) освоение процесса изготовления листов и стандартных образцов для испытаний;

3) расчет технологических параметров для полимера, предназначенного к переработке, и заполнение технологической карты (см. образец карты на рис. 3.10);

4) изготовление листовых заготовок согласно разработанной технологии и вырубание штампом стандартных образцов в продольном и поперечном направлениях;

5) проведение физико-механических испытаний образцов (см. главу 4).

**Расчет технологических параметров процесса экструзии.** Основными технологическими параметрами процесса экструзии являются: температура расплава (формирующей головки), скорость отвода пленки, листа или профиля, скорость вращения шнека и давление на входе в формирующую головку.

Температура расплава при формовании изделий должна за счет вязкости обеспечивать заданную скорость течения полимера, при этом потери в каналах головки должны быть в пределах 15 МПа  $\leq$   $\Delta p$   $\leq$  30 МПа. При низком давлении ухудшается гомогенизация расплава, а при слишком высоком перегружается привод экструдера.

Температура расплава при экструзии должна также обеспечивать определенный уровень вязкоупругих свойств, позволяющий экструдату сохранять заданную форму на выходе из головки, т. е. самопроизвольно не провисать и не разрываться от действия сил гравитации перед поступлением на приемное устройство.

Расчет температуры экструзионной головки можно выполнить с использованием показателя текучести расплава или применить реологические данные, получаемые в работе 3.

Исходные данные: показатель текучести расплава (ПТР) =  $J$ , г/10 мин;  $T_i$  — температура испытаний;  $G_i$  — масса груза;  $l_i$  — длина капилляра;  $R_i$  — радиус капилляра;  $R_{ш}$  — радиус штока.

Исходные реологические характеристики для полиэтилена можно найти на реологической номограмме по показателю текучести расплава (рис. 3.8). Верхняя шкала значений ПТР ( $J$ ) рассчитана для груза массой  $G_i = 5$  кг, нижняя — для груза массой  $G_i = 2,16$  кг при радиусе капилляра  $R_i = 1$  мм. Например, для полиэтилена низкой плотности с показателем текучести расплава ПТР = 0,23 г/10 мин эта точка соответствует координатам  $\dot{\gamma} = 0,8 \text{ с}^{-1}$ ,  $\tau_i = 1,4 \cdot 10^4$  Па.

Пользуясь найденными значениями  $\tau_i$  и  $\dot{\gamma}$  или  $\tau_w$  и  $\dot{\gamma}_w$  из реологической кривой, на номограмме при скорости сдвига  $\dot{\gamma}$  в средней области переработки находим точку, для которой напряжение сдвига равно  $\tau_n$ . При изготовлении труб напряжение сдвига  $\tau_n$  находят в реологической области 1 номограммы, а при изготовлении пленок и листов щелевым методом — в областях 2 или 3.

Используя полученные значения  $\tau_n$  и  $\tau_i$ , рассчитываем температуру расплава на выходе из формующей головки  $T_h$ :

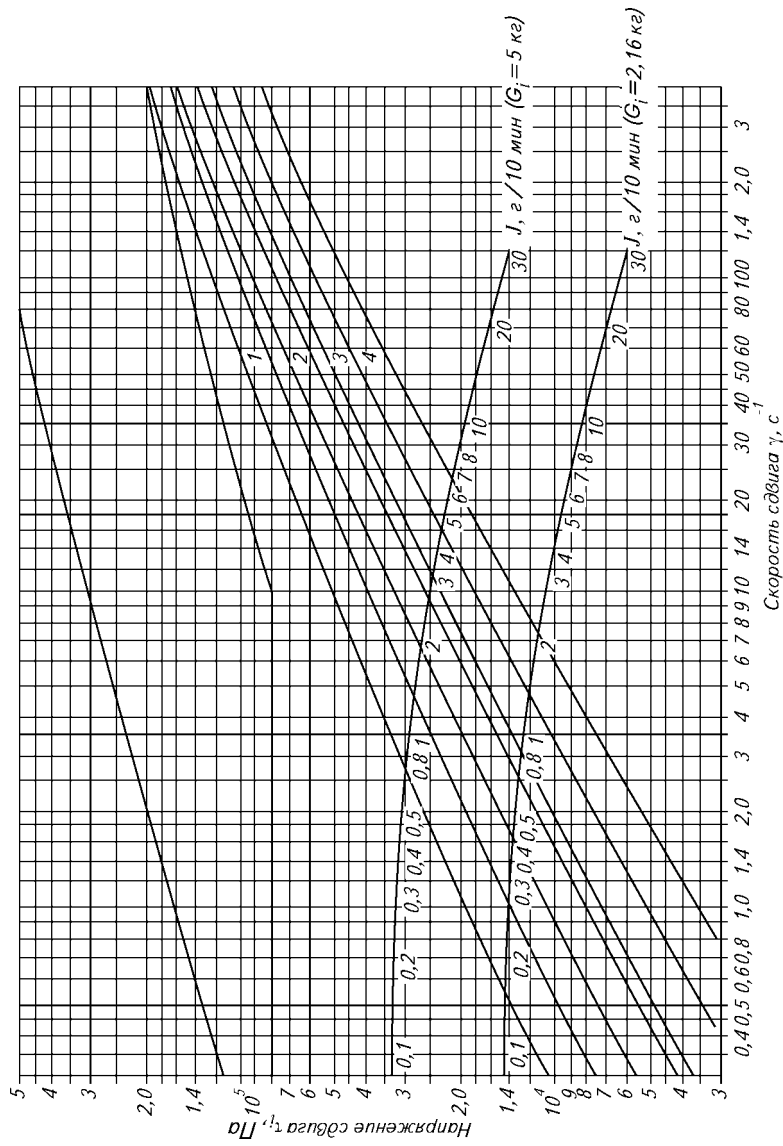
$$T_h = \frac{T_i E_\gamma}{E_\gamma - RT_i \ln(\tau_i / \tau_n)}, \quad (3.3)$$

где  $T_i$  — температура измерения показателя текучести расплава полимера, К;  $E_\gamma$  — энергия активации вязкого течения при скорости сдвига  $\dot{\gamma}$ , Дж/моль;  $R$  — универсальная газовая постоянная.

Энергия активации вязкого течения  $E_\gamma$  определяется из справочников или рассчитывается по экспериментальным данным реологических зависимостей при скорости сдвига  $\dot{\gamma}$  (см. приложение, табл. П.1).

Найденная температура устанавливается в зоне дозирования экструдера и в мундштуке формующей головки. В зоне под бункером температура должна быть ниже температуры размягчения материала, чтобы избежать налипания полимера на червяк. Например, при переработке полиэтилена в зоне загрузки поддерживается температура 50—60 °С.

От зоны загрузки к головке температура цилиндра плавно повышается. В зоне сжатия (плавления) она должна быть выше температуры плавления. Для большинства полимеров этот характер изменения температуры справедлив, но для таких полимеров, как полиамид, полиэтилентерефталат, поликарбонат, метод расчета с использованием номограммы должен уточняться экспериментально. Температура экструзии для полиамидов, поликапроамида и полиэтилентерефталата принимается равной  $T_s = T_{пл} + 20$ , а для



**Рис. 3.8. Геологическая номограмма для расчета температуры переработки и потерь давления в каналах:**

1 — область изготовления труб методом экструзии; 2 — область изготовления пленок рукавным методом; 3 — область изготовления пленок плоскощелевым методом; 4 — область изготовления изделий литьем под давлением с малой анизотропией свойств

поликарбоната  $T_3 = T_d - 10$  ( $T_d$  — температура длительной термостойкости). Значения температур в зонах плавления и загрузки при переработке некоторых полимеров приведены в табл. 3.1.

**Таблица 3.1. Температурный режим переработки полимеров**

Полимер	ПТР, г/10 мин	Температура, °С		
		зона загрузки	зона плавления	головка
ПЭНП	7,0—9,0	90—110	120—180	120—130
	2,0—1,0	110—120	170—180	140—160
	0,6—0,3	120—130	170—180	1909—200
ПЭНП для ру- кавной пленки	2,0	110	140—150	150
	—	93	150	150

Приведенные в таблице значения температур являются ориентировочными, так как не учитывают рассчитанные значения  $T_3$ . При определении технологического режима экструзии для полимера, используемого для изготовления изделий, температура головки принимается равной  $T_3$ , а для зоны загрузки и плавления — с учетом значений, приведенных в табл. 3.1.

После прохождения формующей фильеры расплав полимера необходимо охладить на 20—90 °С ниже температуры размягчения для того, чтобы в дальнейшем изделие не деформировалось.

Охлаждение может осуществляться воздухом (конвективный теплообмен), водой, распыленной водой, холодной поверхностью металлических валков или калибрующих устройств или комбинированными методами.

Скорость отвода листа или пленки находится с учетом времени охлаждения и рассчитывается по уравнению теплопередачи в нестационарных условиях:

$$v_3 = l/t = al/(Fo \cdot d^2), \quad (3.4)$$

где  $d$  — толщина листа (полотна);  $a$  — коэффициент температуропроводности;  $Fo$  — критерий Фурье,  $Fo = at/d^2$ ;  $v_3$  — скорость экструзии;  $l$  — путь движения экструдата при охлаждении;  $t$  — время охлаждения.

Для определения критерия Фурье при охлаждении экструдата воздухом используем графическую зависимость  $\alpha - Fo$  при различных значениях критерия Био (рис. 3.9). Безразмерная величина отношения разностей температур  $\alpha$  равна:

$$\alpha = (T_t - T_B)/(T_p - T_B), \quad (3.5)$$

где  $T_t$  — значение температуры расплава после охлаждения;  $T_t = T_T - 50$  ( $T_T$  — температура текучести);  $T_B$  — температура воздуха при обдувании;  $T_p$  — температура расплава при экструзии.



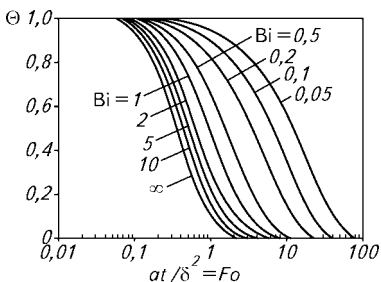


Рис. 3.9. Номограмма для расчета критерия Фурье  $Fo$  (времени охлаждения), заданного безразмерной величиной  $\Theta$ , при нестационарной теплопередаче через пластину при различных значениях критерия  $Bi$

Критерий Био находится по уравнению

$$Bi = ad/l_p,$$

где  $a$  — коэффициент теплопередачи при обдуве воздухом;  $d$  — толщина листа или ленты;  $l_p$  — теплопроводность расплава полимера.

Коэффициент  $a$  находится из значения критерия Нуссельта. Между скоростью воздуха при обдуве и коэффициентом теплопередачи существует следующая зависимость:  $a_z = 3,3v_B^{1,5}$ . Скорость воздуха  $v_B$  с изменением расстояния до экструдата (координата  $z$ ) уменьшается, поэтому можно использовать эмпирическое уравнение

$$a_z = 3,3v_{\max}z^{-1,11}, \quad (3.6)$$

где  $z$  — расстояние от обдувочной щели до расплава;  $v_{\max}$  — максимальная скорость струи воздуха на выходе из щели.

При охлаждении расплава валками критерий  $Bi = \infty$ , поэтому коэффициент теплопроводности не рассчитывается, а вместо температуры воздуха при расчете  $\Theta$  подставляется температура охлаждаемого валка, после чего находится критерий Фурье.

Скорость охлаждения влияет на степень кристалличности полимера или остаточную степень ориентации макромолекул и может изменяться в зависимости от температуры охлаждающих валков или от температуры воздуха при обдуве.

Скорость вращения шнека обеспечивает заданную производительность экструдера  $Q$ , которая зависит от поперечного сечения полотна (изделия) и скорости его отвода  $v$ .

$$Q = r_0 F_{\text{пр}} v,$$

где  $r_0$  — плотность полимера при  $20^\circ\text{C}$ ;  $F_{\text{пр}}$  — площадь поперечного сечения листа, пленки или профиля.

Скорость вращения червяка  $w$  предварительно может быть найдена из рабочей характеристики экструдера с учетом потерь давления в головке из рис. 3.4. Окончательно скорость вращения определяется в процессе лабораторной работы.

Потери давления в каналах формующей головки обычно находятся в процессе проектирования оборудования, а в процессе работы измеряются датчиком давления, который устанавливается в патрубке экструдера.

Полученные данные заносятся в карту технологического процесса экструзии. Карта технологического процесса должна отражать характеристику материала, готового изделия, оборудования, параметры технологического процесса, включая режимы приема готовой продукции. Карта технологического процесса разрабатывается под руководством технолога производства и находится на рабочем месте. Образец карты представлен на рис. 3.10.

**Порядок проведения работы.** Работа на оборудовании (приборе) разрешается только после изучения устройства, принципа его действия и правил безопасной работы на нем (см. главу 7), после прохождения инструктажа по технике безопасности и в присутствии преподавателя или учебного мастера, имеющего специальный допуск.

Перед началом проведения работы проводят расчеты технологических параметров процесса и заполняют операционную карту.

Измеряют глубину формующего зазора головки.

Включают обогрев цилиндра экструдера и головки и задают необходимую температуру.

После достижения заданных температур в цилиндре экструдера и головке включают вращение шнека на минимальных оборотах и малыми порциями засыпают гранулы в бункер, пока расплав не появится на выходе из головки. После этого гранулы полностью насыпают в бункер и начинают исследование.

Отдельные партии полотна помечают (маркируют) и отрезают от общего экструдата. Для испытаний отбирают образцы, изготовленные только при установившемся режиме экструзии. Испытанные образцы производят не ранее чем через 16 ч с момента их изготовления.

По окончании работы горловину бункера экструдера перекрывают, исключая подачу гранул в цилиндр, оставшийся полимер за счет вращения шнека выдавливают из каналов шнека и цилиндра, а установку выключают. При необходимости производят разборку и очистку формующей головки, протирая детали специальными латунными щетками и ветошью, смоченной в минеральном масле.

Номер лента	Номер улица	Номер операции	Наименование операции		Наименование оборудования										
Характеристика материала							Характеристика листа								
наименование, марка	цвет	текучесть	влажность	толщина, мм	ширина, мм	длина, мм	коэффициент светопро- пускания	номина-	допус-	миним-	допус-	миним-	допус-		
								льная	касовая	льная	касовая	ная	мая		
Характеристика оборудования															
Червяк							Формующая головка								
Тип агрегата	диаметр, мм	соотношение L/D	степень сжатия	скорость враще- ния, об/мин	ширина щели, мм	величина зазора	d, мм	l, мм	ско- рость, м/мин						
Параметры технологического процесса															
Частота вращения червяка, об/мин	Температура охлаждения червяка, С	Температура по зонам, °С						Скорость отвержде- ния листа, м/мин	Темпера- тура охлаж- дающей воды						
		головики													
		1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6

Рис. 3.10. Карта технологического процесса производства полимерного листа методом экструзии

### **Содержание работы и оформление полученных результатов:**

1) изучить влияние скорости вытяжки расплава (экструдата) на физико-механические свойства изделия при вырубании лопаточек вдоль и поперек направления экструзии;

2) изучить влияние скорости вытяжки расплава (экструдата) на степень ориентации макромолекул. Для этого проводится термическая усадка образцов в виде прямоугольников или дисков с размерами не менее 50 мм вдоль и поперек направления экструзии. Термическая усадка производится при нагревании образцов до температуры, близкой к температуре текучести. Перед испытанием на образце следует указать стрелками направление экструзии. Нагревание проводят при помещении образцов между двумя слоями хлопчатобумажной ткани или сетками, натянутыми на рамку;

3) построить графики изменения прочности и термической усадки от степени вытяжки расплава. Коэффициент вытяжки расплава  $K_v$  определяется как отношение площади формирующего зазора головки  $f_\phi$  к площади поперечного сечения листа или пленки  $f_\Pi$ , т. е.  $K_v = f_\phi / f_\Pi$ .

## **3.2. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЛИТЬЯ ТЕРМОПЛАСТОВ ПОД ДАВЛЕНИЕМ**

### **3.2.1. ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ ТЕРМОПЛАСТОВ МЕТОДОМ ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ**

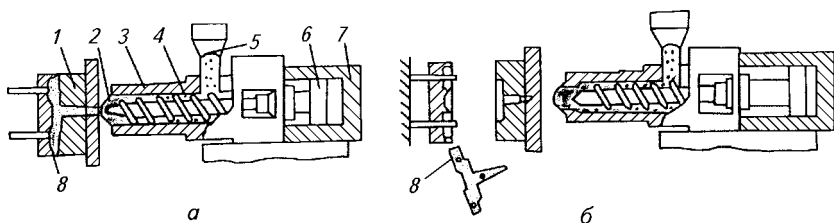
Литье под давлением — наиболее распространенный и прогрессивный метод переработки пластмасс, так как позволяет получать изделия сравнительно сложной конфигурации при небольших затратах труда и энергии.

Технологический процесс литья изделий из термопластичных полимеров состоит из следующих операций:

- 1) плавление, гомогенизация и дозирование полимера;
- 2) смыкание формы;
- 3) подвод узла впрыска к форме;
- 4) впрыск расплава;
- 5) выдержка под давлением и отвод узла впрыска;
- 6) охлаждение изделия и операция дозирования;
- 7) раскрытие формы и извлечение изделия.

Технологическая схема процесса литья под давлением представлена на рис. 3.11.

В момент впрыска расплава и во время выдержки его под давлением (рис. 3.11, *a*) цилиндр литьевой машины 3 подведен к литьевой форме 1 и сопло 2 соединено с литниковым каналом формы.



**Рис. 3.11. Технологическая схема процесса литья под давлением термопластов:**

*a* — формирование изделия; *б* — раскрытие формы и извлечение изделия; 1 — форма; 2 — сопло; 3 — цилиндр литьевой машины; 4 — шнек; 5 — бункер; 6 — поршень узла впрыска; 7 — цилиндр узла впрыска; 8 — изделие

Шнек 4 под действием поршня 6 узла впрыска перемещается к форме, и расплав под давлением впрыскивается в формирующую полость. Для исключения вытекания расплава из формы его выдерживают под давлением. За время охлаждения изделия расплав в литнике достаточно охлаждается, узел впрыска отводится от формы (рис. 3.11, б) и начинается дозирование новой порции расплава, при этом шнек, вращаясь, отходит вправо. В конце операции дозирования, когда накопится определенная масса расплава, вращение шнека прекращается. После окончания охлаждения форма раскрывается и происходит удаление изделия. Такова общая последовательность технологических операций.

Операция дозирования осуществляется в результате перемещения полимера в переднюю часть цилиндра при вращении шнека. Вращение шнека начинается после окончания стадии выдержки под давлением предыдущего цикла литья и уменьшения давления в цилиндре термопластавтомата. При давлении впрыска 60—140 МПа нагрузка на шнек очень велика и вращение его недопустимо. Дозирование сопровождается сжатием и нагреванием гранул с последующим переходом полимера в вязкотекучее состояние.

Для обеспечения хорошей гомогенизации расплава во время дозирования шнек отходит не свободно, а преодолевая давление подпора. Усилие подпора на шнеке создается с помощью поршня узла впрыска, так как масло из цилиндра сливается через обратный клапан. Следует заметить, что давление подпора увеличивает температуру расплава и повышает ее однородность по сечению в каналах шнека. С увеличением частоты вращения шнека неоднородность расплава в его каналах возрастает, поэтому для гомогенизации расплава увеличивают усилие подпора за счет повышения давления масла в цилиндре узла впрыска.

В отличие от экструзионных процессов температура по зонам цилиндра узла пластикации устанавливается значительно выше.

Это необходимо для уменьшения вязкости расплава, чтобы в момент впрыска в отверстия сопла, литниковых каналах и формующей полости не возникали большие перепады давлений. Однако при очень высокой температуре на изделиях образуется облой (грат), т. е. расплав очень сильно затекает в зазоры по линии разъема формы. Смыкание формы осуществляется в результате перемещения подвижной плиты термопластавтомата вместе с закрепленной на ней разъемной частью формы и создания определенного усилия смыкания  $N_{см}$ , необходимого для предотвращения раскрытия формы в момент заполнения ее расплавом.

Во время впрыска расплав полимера под действием давления начинает течь через литниковые каналы в формующую полость формы, заполняет ее, а затем под действием давления сжимается. Так как заполнение формы происходит в течение очень короткого времени (1—3 с), эту операцию называют *впрыском*.

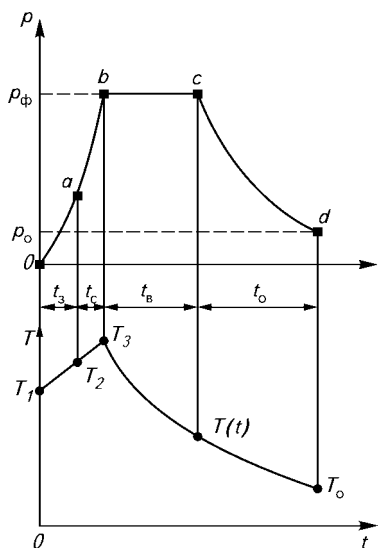
Вначале расплав заполняет литниковые каналы формы, а затем формующую полость, поэтому давление постепенно повышается. Изменение давления при впрыске показано на рис. 3.12 (отрезок  $0a$ ). Поскольку расплав у поверхности стенок быстро охлаждается, то релаксация напряжений затрудняется, поэтому в поверхностных слоях изделия сохраняется высокая степень ориентации макромолекул.

Внутренние слои испытывают при течении меньшие напряжения сдвига и охлаждаются медленнее, поэтому в них молекулы почти не ориентированы. Таким образом, течение расплава с одновременным пристенным охлаждением обуславливает высокую степень ориентации макромолекул и ее неоднородность по толщине изделия. Ориентация макромолекул приводит к упрочнению изделия вдоль направления литья, однако у полимеров с жесткими цепями вследствие неоднородности ориентации возникают большие остаточные напряжения, которые вызывают появление микротрещин или понижают прочность изделия.

После заполнения формы расплавом происходит его охлаждение, в результате чего увеличивается плотность и уменьшается объем, занимаемый полимером. Вследствие уменьшения объема через литники в форму продолжает поступать дополнительная порция расплава, и давление в ней поддерживается почти постоянное.

Выдержка под давлением (отрезок  $bc$  на рис. 3.12) обычно продолжается до тех пор, пока расплав в центральной части впускного литника или в формующей полости около литника не охладится до температуры текучести.

Охлаждение расплава начинается фактически сразу после впрыска его, однако как отдельная технологическая операция охлаждение задается с помощью реле времени по окончании вы-



**Рис. 3.12.** Цикл-диаграмма процесса литья под давлением:

$0a$  — заполнение формы расплавом;  $ab$  — сжатие;  $bc$  — выдержка под давлением;  $cd$  — охлаждение изделия

держки под давлением. Таким образом, выдержка при охлаждении необходима для окончательного затвердевания расплава полимера и достижения определенной конструкционной жесткости изделий, исключая их деформацию при извлечении из формы с помощью толкателей или съемных плит.

Температура полимера перед размыканием формы должна быть такой, чтобы при извлечении изделия не произошло его коробление или разрушение. В процессе охлаждения температура расплава понижается, а так как объем остается неизменным, то давление в форме снижается (отрезок  $cd$  на рис. 3.12). Поскольку охлаждение происходит со всех сторон, то на поверхности формующей полости образуется твердый слой полимера, который в дальнейшем препятствует изменению объема. В отличие от производства экструзионных или выдувных изделий в данном случае дальнейший рост плотности при охлаждении происходит за счет уменьшения давления сжатого расплава, т. е. за счет снижения давления в формующей полости. При недостаточном сжатии расплава у изделий с большой толщиной стенок внутри изделия могут образовываться пустоты (раковины).

Литьевые изделия могут иметь весьма разнообразные конфигурации и размеры, поэтому основными причинами появления остаточных внутренних напряжений являются неравномерность процесса охлаждения и разнотолщинность стенок. При заполнении формы расплавом там, где находится тонкая стенка, возникают большие скорости сдвига и соответственно высокие напряжения сдвига. На участках, где толщина стенок большая, расплав течет медленнее, поэтому и степень ориентации в этих формующих зазорах незначительна. При последующем охлаждении расплава происходит частичная разориентация макромолекул, однако за счет более быстрого охлаждения тонких стенок релаксация на этих участках практически не протекает. В местах с большой тол-

щиной стенок разориентация протекает полнее, а так как там первоначально напряжения и так были меньше, то различие в степени ориентации по площади изделия усиливается.

При охлаждении полимера протекают релаксационные процессы, а у кристаллизующихся полимеров — процесс кристаллизации. Чем ниже температура формы, тем меньше выдержка при охлаждении и тем выше производительность процесса литья под давлением. Структурные изменения, происходящие при охлаждении расплава в форме, оказывают влияние на физико-механические свойства готового изделия.

После окончания операции охлаждения происходит раскрытие формы. Подвижная часть формы, закрепленная на плите узла смыкания, отводится, при этом изделие уходит вместе с ней. Выступающая часть толкателей упирается в ограничитель литьевой машины, и выталкиватели останавливаются вместе с изделием, а подвижная часть формы отводится дальше, за счет чего происходит извлечение изделия. Одновременно с изделием из литниковой втулки извлекается литник.

### 3.2.2. ОСНОВНЫЕ УЗЛЫ И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ЛИТЬЕВОЙ МАШИНЫ

Литьевая машина состоит из трех наиболее важных узлов (рис. 3.13):

- узел смыкания;
- узел пластикации;
- станина машины с системой привода и системой управления.

Узел пластикации состоит из вращающегося в стационарном нагреваемом цилиндре шнека, который при впрыске подобно поршню смещается в сторону мундштука, а затем в процессе пластикации за счет противодействия расплава полимера возвращается в свое исходное положение.

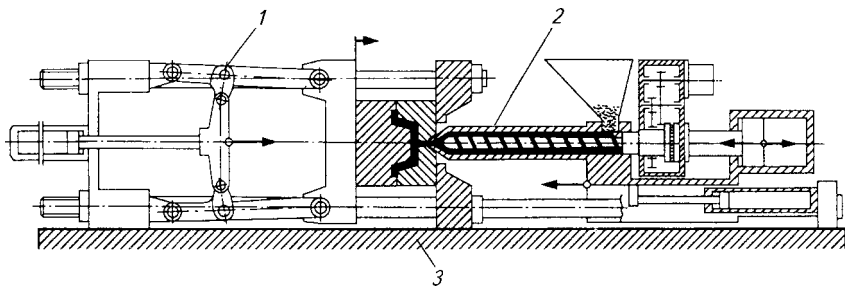


Рис. 3.13. Схематическая структура литьевой машины:

1 — узел смыкания литьевой формы; 2 — узел пластикации; 3 — станина машины



Вращательное движение шнека обеспечивается гидравлическим или электрическим двигателем, а его осевое перемещение — рабочим поршнем (плунжером) с гидравлическим цилиндром.

Задачи, выполняемые узлом пластикации, состоят в следующем: *загрузка*; полимерный материал в виде порошка или гранулята поступает в материальный цилиндр через загрузочный бункер;

*подача*; далее за счет вращательного движения шнека формовочная масса подается к мундштуку;

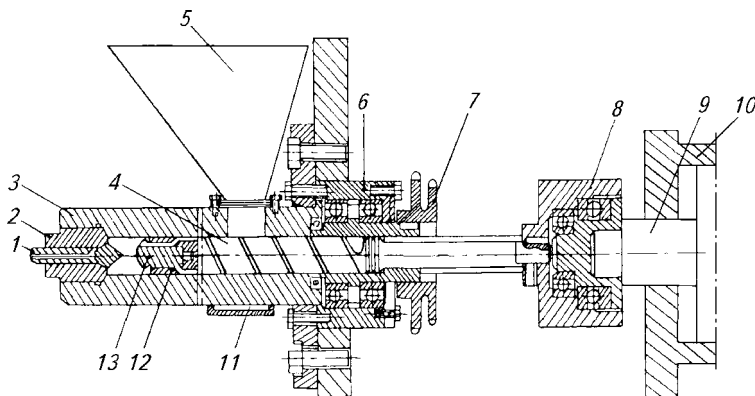
*пластикация*; формовочная масса пластицируется под воздействием тепла ленточных нагревателей и за счет трения;

*дозирование*; дозировка — набор определенного количества пластицированного полимерного материала на участке цилиндра перед наконечником шнека; давление накапливаемого расплава отесняет шнек по оси назад в сторону загрузочного бункера, после создания требуемой дозы вращение шнека прекращается;

*впрыск (инжекция)*; за счет осевого перемещения шнека в направлении мундштука расплав полимера впрыскивается в формующую полость литьевой формы; во время впрыска шнек действует подобно поршню.

Эти процессы следуют один за другим.

Узел пластикации (рис. 3.14) состоит из цилиндра 3, на конце которого установлен мундштук (сопло) 2 с запорным клапаном 1. Внутри цилиндра вращается шнек 4, привод которого производится от редуктора через цепную передачу с помощью звездочки 7, закрепленной на втулке подшипникового узла 6.



**Рис. 3.14. Узел шнековой пластикации термопластавтомата:**

1 — клапан мундштука; 2 — мундштук; 3 — материальный цилиндр; 4 — шнек; 5 — бункер; 6 — подшипниковый узел привода шнека; 7 — звездочка цепной передачи; 8 — муфта штока; 9 — шток; 10 — гидроцилиндр впрыска; 11 — кожух для подачи охлаждающей воды; 12 — втулка клапана; 13 — наконечник шнека

Шнек соединен через соединительную муфту 8 со штоком 9 гидроцилиндра впрыска 10. На конце шнека 4 смонтирован запорный клапан, состоящий из втулки клапана 12 и наконечника шнека 13. В загрузочной зоне цилиндра пластикатора смонтирован бункер 5 для гранул полимера и кожух 11 для подачи холодной воды.

В систему электроуправления литьевой машиной входят общий вводной выключатель и электрощит, расположенный в нише станины. На лицевой панели станины расположены реле времени, переключатель режимов на три положения (наладочный, полуавтоматический и автоматический режимы), кнопка для включения и выключения обогрева, выключатель света, автотрансформаторы для изменения мощности электронагревателей, электромагнитные пускатели и защитное устройство.

Рабочей жидкостью является масло «индустриальное», которое находится в гидробаке.

Гидроаппаратура и коммуникации масла расположены внутри станины. На верхней лицевой стороне станины находится щит гидропривода. Давление масла в гидросистеме узла впрыска и смыкания измеряется манометрами.

После нагревания материального цилиндра 3 узла пластикации включается электродвигатель, который через червячный редуктор начинает вращать шнек 4 (см. рис. 3.14). Гранулированный материал из бункера 5 поступает через горловину в цилиндр 3 пластикатора, в котором вращается шнек (червяк). При вращении червяка материал перемещается вдоль цилиндра (влево по рис. 3.14), плавится и пластицируется.

Под давлением расплава, созданным шнеком в левой части цилиндра, шнек перемещается вправо, освобождая место для набора новых порций расплавленного материала.

Для исключения попадания пузырьков воздуха в расплав и его лучшей гомогенизации он набирается при наличии противодействия в поршневой полости гидроцилиндра 10. Давление подпора создается обратным клапаном, который установлен на линии слива масла из цилиндра впрыска 10 (дозирование материала, т. е. включение вращения шнека производят только после нагревания цилиндра пластикатора до заданной температуры).

Во время набора порции расплава (при дозировании) за счет избыточного давления клапан 1 мундштука 2 сдвигается влево, и каналы сопла перекрываются, предотвращая свободное истечение расплава из цилиндра. После набора определенной порции материала кулачок, соединенный со шнеком, воздействует на конечный выключатель, в результате чего вращение шнека и его перемещение вправо прекращается. Изменение набираемой в

цилиндре дозы расплава осуществляется перестановкой на штанге кулачка.

После набора дозы материала производят смыкание формы за счет нажатия кнопки «пуск гидронасоса» и подачи масла из гидронасоса в цилиндр узла смыкания. При этом подвижная часть формы прижимается к неподвижной и создается необходимое усилие смыкания. При смыкании неподвижная часть формы за счет пружин, установленных в станине, несколько сдвигается к мундштуку (соплу) 2 и открывает клапан 1 (см. рис. 3.14). При нажатии кнопки «поршень вперед» масло подается в гидроцилиндр 10, шток 9 и шнек 4 перемещаются влево, в результате чего происходит впрыск расплава в формующую полость формы. Для уменьшения утечек материала при впрыске на конце шнека устанавливают подвижную кольцевую втулку 12 со сквозными отверстиями, притертую к конической поверхности хвостовика шнека. При вращении шнека материал отжимает втулку от наконечника шнека. В таком положении отверстия втулки соединяют шнековую полость с передней частью полости цилиндра. При впрыске материала в форму шнек перемещается влево, вследствие чего втулка 12 под давлением материала плотно прижимается к конической поверхности шнека 4 и исключает обратное течение материала по винтовой нарезке шнека.

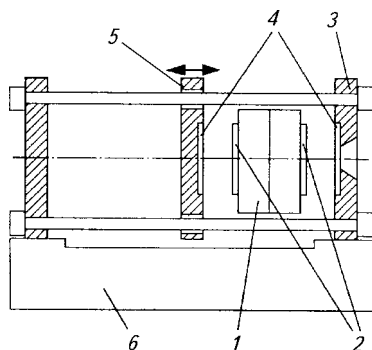
После впрыска кнопка «плунжер» удерживается во включенном состоянии в течение времени, необходимого для создания выдержки под давлением. После отпускания кнопки «плунжер» давление масла в цилиндре 10 понижается и плунжер 9 не передает усилие на шнек 4, поэтому можно нажать кнопку «догрузка» и начать операцию дозирования для следующей отливки. В это же время форма должна находиться в сомкнутом положении, так как происходит операция выдержки при охлаждении. После ее окончания нажатием кнопки «форма назад» происходит размыкание формы, откуда извлекается изделие.

Узел смыкания (рис. 3.15) обеспечивает контакт с мундштуком, смыкает и размыкает литевную форму, создает усилие, необходимое для удерживания литевной формы в закрытом состоянии, участвует в извлечении изделия из литевной формы. Усилие, необходимое для удержания литевной формы в закрытом состоянии, может быть создано механическим способом с помощью коленчатого-рычажного или гидравлического механизма. Усилие смыкания должно быть больше, чем распорное усилие, возникающее в литевной форме в результате давления расплава.

Станина машины служит для размещения в ней отдельных элементов конструкции литевной машины и их надежного крепления.

**Рис. 3.15. Узел смыкания:**

1 — литейная форма; 2 — центровочные выступы формы; 3 — неподвижная передняя плита; 4 — центровочные углубления; 5 — подвижная крепежная плита; 6 — станина машины



Управление процессом осуществляется с помощью таймеров или электронных датчиков времени. Размещение дополнительных регулирующих устройств помогает контролировать заполнение формы и ее подпитку (в зависимости от давления материала в литейной форме).

Температура цилиндра, как правило, контролируется электронными датчиками.

### ***Работа 18. Изготовление изделия «лопатка» из термопластов методом литья под давлением***

**Цель работы:** ознакомиться с технологическим процессом изготовления изделий из термопластов методом литья под давлением; изучить методику расчета технологических параметров процесса литья под давлением; исследовать влияние основных технологических параметров литья на свойства изделий из термопластов; изучить методику составления технологических операционных карт процесса литья под давлением.

Работа на оборудовании (приборе) разрешается только после изучения устройства, принципа его действия и правил безопасной работы на нем (см. главу 7), прохождения инструктажа по технике безопасности и только в присутствии преподавателя или учебного мастера, имеющего специальный допуск.

#### **Содержание работы:**

- 1) изучение устройства и принципа действия литейной машины;
- 2) освоение процесса изготовления детали методом литья под давлением;
- 3) расчет (по предлагаемой методике) технологических параметров литья под давлением полимеров, предназначенных для переработки;
- 4) составление операционной карты по предлагаемой форме на деталь, получаемую литьем под давлением;

- 5) изготовление детали согласно разработанной технологии;
- 6) проведение анализа качества полученной детали по следующим параметрам согласно соответствующим ГОСТам: разрушающее напряжение при растяжении, относительное удлинение при разрыве, масса изделия и усадка.

**Расчет технологических параметров процесса литья под давлением.** Основными параметрами литья под давлением являются температура расплава в цилиндре машины, температура формы, время выдержки под давлением, время охлаждения и удельное давление литья. Поскольку часть параметров связаны друг с другом, рассчитывать их целесообразно в приведенной ниже последовательности.

**Температура расплава.** Температура в цилиндре машины около сопла  $T_d$  обеспечивается за счет нагревания стенок, а также диссипации энергии вязкого течения в каналах шнека. Численно она определяется назначением изделий и их прочностью, а также требуемой вязкостью расплава полимера. Так, при литье под давлением, когда изделия не должны обладать значительной анизотропией свойств или имеют малую толщину стенок, применяется повышенная температура расплава. При литье с высокими температурами во время операции впрыска и выдержки под давлением (подпитки формы расплавом) не возникают большие напряжения сдвига, поэтому ориентация макромолекул понижается. Одновременно за счет высокой температуры происходит более полная релаксация во время охлаждения и ориентация снижается еще больше. Это приводит к снижению прочности, но одновременно уменьшается анизотропия усадки и механической прочности изделия.

Расчет температуры расплава можно провести с использованием показателя текучести расплава по реологической номограмме. Методика расчета описана в работе 17.

Но во всех случаях следует стремиться к возможно более низкой температуре в первой зоне и относительно высокой температуре в последующих зонах.

По уравнениям неустановившегося изотермического течения рассчитывают напряжение сдвига  $\tau_i$  и скорость сдвига  $\dot{\gamma}$ . Необходимые для расчета плотность и температуру  $T_i$  выбирают из справочников (см. приложение, табл. П. 4).

При изготовлении изделий с повышенными механическими свойствами в направлении литья температуру расплава понижают, поэтому напряжение сдвига  $\tau_n$  определяют по средней линии области 3 реологической номограммы (см. рис. 3.8).

Энергию активации  $E_G$  и показатель степени  $n$  определяют из справочной литературы или рассчитывают по экспериментальным

данным реологической зависимости при  $\dot{\epsilon}$ . Величину  $n$  в данном расчете можно принять  $n \approx 0,5$ .

Расчет температуры расплава при литье выполняют по формуле

$$T_{л} = \frac{E \dot{\gamma} T_i}{E \dot{\gamma} - RT_i \ln(\tau_i / \tau_n)}, \quad (3.7)$$

где  $E \dot{\gamma}$  — энергия активации вязкого течения при скорости сдвига  $\dot{\gamma}_1$ , Дж/моль (см. дополнение к табл. П. 1 приложения);  $T_i$  — температура измерения показателя текучести расплава, °С;  $R$  — универсальная газовая постоянная;  $\tau_n$  — напряжение сдвига, найденное из рис. 3.8, при скорости сдвига  $\dot{\epsilon}$ .

Выбранное значение температуры заносят в графы 37 и 50 операционной карты (см. рис. 3.16).

Температура по зонам нагрева литьевой машины (графы 46, 47, 48 и 49) должна выбираться с учетом конструкции литьевой машины. Обычно температура в первой зоне около бункера в пределах не более 40—50 °С. Расчетное значение температуры литья  $T_{л}$  (графа 50 операционной карты) не должно выходить за пределы

$$T_{дт} \geq T_{л} \geq T_{т} + 50, \quad (3.8)$$

где  $T_{дт}$  — температура длительной термостойкости;  $T_{т}$  — температура текучести полимера.

**Время выдержки под давлением.** Выдержка под давлением производится до тех пор, пока расплав полимера не охладится в самом тонком месте литника или в изделии около литника до температуры ниже температуры текучести. При этих условиях поступление новых порций расплава в форму и вытекание расплава из формы становятся невозможными и дальнейшая выдержка под давлением не имеет смысла. Поэтому время выдержки под давлением определяется условиями охлаждения расплава в каналах литника или формирующей полости до температуры текучести  $T_{т}$ .

Чтобы не усложнять расчет, воспользуемся приближенным методом, для чего в уравнение нестационарной теплопроводности введем поправочный коэффициент  $K_{л}$ , учитывающий течение расплава через литник в момент подпитки формы расплавом:

$$K_{л} = \sqrt{1 + \frac{\Delta V}{3V_{л}}}, \quad (3.9)$$

где  $\Delta V$  — объем расплава, нагнетаемый в форму во время выдержки под давлением;  $V_{л}$  — объем впускного литника; для приближенных расчетов  $\Delta V/V_{л}$  принимают равным 2.

Температура расплава после впрыска в форму и сжатия полимера  $T_3$  находится по уравнению

$$T_3 = T_{\text{л}} + \frac{\Sigma \Delta p_{\text{м}} + \Sigma \Delta p_{\text{л}}}{C_{\text{р}} \rho_{\text{р}}} + \frac{RT_{\text{л}} P^2}{M\Pi(P + \Pi)C_{\text{р}}}, \quad (3.10)$$

где  $\text{SD}p_{\text{м}}$ ,  $\text{SD}p_{\text{л}}$  — суммарные потери давления в каналах мундштука и литниковой системы соответственно;  $P$  — давление в форме во время выдержки под давлением;  $M$ ,  $\Pi$ ,  $R$  — коэффициенты уравнения состояния для данного полимера;  $C_{\text{р}}$ ,  $\rho_{\text{р}}$  — удельная теплоемкость и плотность расплава при средней температуре  $T_{\text{ср}} = (T_{\text{т}} + T_{\text{л}})/2$  ( $T_{\text{т}}$  — температура текучести полимера).

Для приблизительных расчетов можно воспользоваться уравнением

$$T_3 = T_{\text{л}} + 15. \quad (3.11)$$

Время выдержки под давлением находят с учетом нескольких условий:

это должно быть время, когда температура расплава в середине самого тонкого места литника или на каком-либо другом участке понижается ниже температуры текучести  $T_{\text{т}}$ ;

это должно быть время, при котором температура изделия около выпускного литника понижается до  $T_{\text{т}}$ .

Время выдержки под давлением (время охлаждения расплава) для литника прямоугольного сечения

$$t_{\text{в}} = \frac{K_{\text{л}} S^2 h^2}{\pi^2 a (S^2 + h^2)} \ln \frac{16(T_3 - T_0)}{\pi^2 (T_{\text{т}} - T_0)}, \quad (3.12)$$

где  $S$  и  $h$  — ширина и глубина выпускного литника соответственно;  $T_{\text{т}}$  — температура текучести (или плавления);  $a$  — коэффициент температуропроводности расплава;  $T_3$  — температура расплава после впрыска и сжатия;  $T_0$  — температура охлаждающей поверхности формы, приближенно можно принять ее равной  $T_0 = T_{\text{ф}} + 4$  ( $T_{\text{ф}}$  — температура формы).

Температуру формы выбирают по табл. П.5 (см. приложение).  
Время охлаждения для цилиндрического литника

$$t_{\text{в}} = \frac{K_{\text{л}} r^2}{5,76a} \ln \frac{1,6(T_3 - T_0)}{(T_{\text{т}} - T_0)}, \quad (3.13)$$

где  $r$  — среднее значение радиуса литника.

Время выдержки может быть обусловлено временем охлаждения расплава в формирующей полости, в этом случае расчет ведут

по формуле

$$t_B = \frac{\delta^2}{\pi^2 a} \ln \frac{4(T_3 - T_0)}{(T_T - T_0)}, \quad (3.14)$$

где  $\delta$  — толщина изделия.

Такое же уравнение можно применять, когда форма имеет кольцевой или веерный впускной литник. Тогда вместо значения  $\delta$  подставляют глубину литника и вводят коэффициент  $K_L$ .

За время выдержки под давлением принимается минимальное значение из всех найденных величин и заносится в операционную карту в графу 44 (см. рис. 3.16).

**Время выдержки на охлаждение.** Технологическое расчетное время выдержки на охлаждение задается по реле времени после отвода сопла от формы, т. е. после выдержки под давлением. Время охлаждения

$$t_0 = \frac{2,3\delta^2}{\pi^2 a} \lg \frac{8(T_3 - T_0)}{\pi^2(T_D - T_0)} - t_B. \quad (3.15)$$

Величина температуры охлажденной детали  $T_D$  должна быть такой, чтобы изделие при извлечении из формы не коробилось или не деформировалось при воздействии выталкивателей. Для этого  $T_D$  должна быть ниже температуры размягчения полимера:

$$T_D = t_B - 20, \quad (3.16)$$

где  $t_B$  — температура размягчения полимера по Вика (см. приложение, табл. П.7).

При расчете времени охлаждения изделий с большой толщиной стенок температура  $T_D$  может быть принята на 20—30 °С выше рекомендуемой. Деталь при этом после извлечения из формы охлаждается в специальных охлаждающих приспособлениях. Найденные значения технологических параметров заносятся в операционную карту в графу 45 (см. рис. 3.16).

**Удельное давление литья.** Давление в форме наиболее сильно влияет на размеры изделия, поэтому в качестве исходной величины для расчета удобнее применять усадку.

Давление в форме определяется по уравнению

$$P_\Phi = \left\{ \frac{(1-y)^3 R T_t}{M[V_0 - b(1-y)^3]} - \Pi \right\}, \quad (3.17)$$

где  $P_\Phi$  — давление в форме, Па;  $R$  — универсальная газовая постоянная;  $T_t$  — средняя температура расплава после выдержки под давлением;  $V_0$  — удельный объем полимера при 20 °С;  $M$ ,  $\Pi$ ,  $b$  — коэффициенты уравнения (находят по справочным данным — см. приложение);  $y$  — расчетная усадка полимера.



				Основная надпись по ГОСТ 3.1103-74																	
№ чертежа	№ детали	Наименование операции		Помер технологического оборудования				Наименование модели оборудования				Метод изготовления		Усилия прессования							
		Материал		Марка детали		Масса навески		Таблетки		5а				Аппаратура для нагрева							
1	2	3	4	Текущая часть		Усадка		Масса		размеры		количество на деталь		6		7					
Наименование, марка				9	10	11	12	13	14	15	16	17	18				19				
8				Пресс-форма (литьевая форма)																	
Тип	Код	Кол. гнезд	Масса	Прогревание	Охлаждение	Кол. разъемных частей	Кол. разъемных знаков	Наименование смазки	Наименование арматуры	29	30	31	Температура по зонам нагрева литейной машины				Подпрессовка	Т <sub>0</sub>			
													зона	завуэжк	III	IV					
20				21	22	23	24	25	26	27	28										
Общая чертня																					
Номер перехода	Содержание перехода	Припособление и инструмент (наименование)	Нагрев				Прессование (литье)				Температура по зонам нагрева литейной машины				Подпрессовка	Т <sub>0</sub>					
			Материал		Арматура		Рабочая температура		Выдержка		I II III IV										
32	33	34	сила тока	температура	температура	температура	температура	манометры	под давлением	при охлаждении	зона	завуэжк	46	47	48	49	50	51	52	53	54

Основная надпись по ГОСТ 3.1103-74

Рис. 3.16. Операционная карта изготовления деталей из пластмасс прессованием и литьем под давлением

Скорость впрыска — один из важных параметров литья под давлением. В период впрыска для достижения максимальной скорости заполнения в гидросистеме узла впрыска следует поддерживать давление максимальным.

Усилие смыкания формы должно быть выше усилия впрыска в 1,5 раза во избежание раскрытия формы.

**Разработка операционной карты.** Операционная карта предназначена для описания единичных процессов изготовления деталей из пластмасс методом прессования реактопластов или литья под давлением термопластов. Форма карты представлена на рис. 3.16.

Графы следует заполнять в соответствии с табл. 3.2.

**Таблица 3.2. Порядок заполнения граф операционной карты (см. рис. 3.16)**

Номер графы	Содержание графы
1	Номер производства, на котором выполняется операция
2	Номер рабочего места
3	Номер операции по маршрутной карте
4	Наименование операции
5, 5а	Номер технологического оборудования, наименование модели оборудования
6	Метод изготовления (например, компрессионное, литьевое прессование, литье под давлением и т. д.)
7	Расчетное усилие прессования
8	Наименование марки материала
9	Цвет материала
10	Текучесть материала
11	Содержание влаги в материале в процентах
12	Усадка материала в процентах
13	Масса детали по конструкционному документу
14	Масса навески (масса разовой загрузки материала в пресс-форму)
15	Масса таблетки (если загрузка производится таблетками)
16	Размеры таблетки
17	Количество таблеток на деталь
18	Аппаратура для нагрева материала
19	Аппаратура для нагрева арматуры
20	Тип конструкции пресс-формы (например, открытая, закрытая, полузакрытая)
21	Код пресс-формы или литьевой формы
22	Количество гнезд в пресс-форме
23	Масса формы
24	Нагрев (вид нагрева формы: электрический, паровой и т. д.)
25	Охлаждение (вид охлаждения: воздушный, водяной и т. д.)
26	Количество разъемных частей пресс-формы
27	Количество резьбовых знаков в пресс-форме
28	Наименование смазочного материала
29	Наименование арматуры при ее наличии
30	Обозначение арматуры
31	Количество арматуры на одну деталь
32	Номер перехода

Номер графы	Содержание графы
33	Содержание перехода (подсушка материала включается в качестве перехода)
34	Код и наименование приспособления или вспомогательного инструмента
35	Сила сеточного тока генератора высокой частоты
36	Сила анодного тока генератора высокой частоты
37	Температура нагрева материала
38	Длительность нагрева материала
39	Температура нагрева арматуры
40	Длительность нагрева арматуры
41	Рабочая температура пуансона
42	Рабочая температура матрицы
43	Давление по манометру
44	Время выдержки в форме под давлением
45	Время выдержки в форме при охлаждении
46—50	Температура по зонам нагрева
51	Пауза до начала подпрессовки литейной машины
52	Высота подпрессовки — высота подъема пуансона при подпрессовке
53	Количество подпрессовок
54	Норма основного времени на подпрессовку

Примечание: при отсутствии арматуры в изделиях, разогрева материала в генераторах тока высокой частоты соответствующие графы не заполняются.

Содержание переходов (графа 33 операционной карты) при литье под давлением включает следующие операции:

- 1) плавление, гомогенизация и дозирование расплава;
- 2) смыкание формы и подвод узла впрыска к форме;
- 3) впрыск расплава;
- 4) выдержка под давлением;
- 5) охлаждение изделия;
- 6) раскрытие формы и извлечение изделия.

**Оформление работы. Оценка качества изделий.** Согласно условиям операционной карты изготовить изделие «лопаточка», провести визуальный осмотр изделия. В случае обнаружения брака необходимо вычислить причину его возникновения и провести повторное изготовление изделия по уточненным значениям технологических параметров процесса.

При исследовании влияния времени выдержки под давлением на качество изделий отливают ряд деталей при различном времени выдержки  $t_{\text{в}}$  (5—40 с) с интервалом 2—5 с, затем определяют массу детали без литников и строят графическую зависимость  $m = j(t_{\text{в}})$ . Точка перегиба кривой (переход ее в горизонталь) указывает на то, что при этом времени выдержки под давлением происходит застывание расплава в литниках до температуры текучести. Найденное время является максимальной величиной выдержки под давлением. Оптимальное время выдержки можно найти из зависимости

сти изменения усадки изделия от  $t_b$ . Используя величину  $t_b$ , полученную из уравнения для расчета времени выдержки под давлением, можно определить коэффициент  $K_d$  для данной геометрии литника и его размеров.

При исследовании влияния на качество детали времени охлаждения детали в качестве критерия оценки качества можно использовать величину деформации или прогиб изделия. При слишком низкой величине выдержки может появиться нарушение геометрии изделия, большой остаточный прогиб или смятие изделия. Анализ качества готового изделия проводится по следующим параметрам согласно нормативной документации: разрушающее напряжение при растяжении, относительное удлинение при разрыве (методы испытания и порядок определения этих характеристик описаны в главе 4). Замеряется также усадка изделия (метод испытания описан в главе 2).

Результаты физико-механических испытаний полученных деталей оформляют в виде табл. 3.3.

**Таблица 3.3. Экспериментальные данные исследования литья под давлением**

Наименование детали	Технологический режим				Характеристики изделия			
	$t_b$ , °C	$t_o$ , °C	$p_{уд}$ , МПа	$T_f$ , °C	усадка, %	разрушающее напряжение при растяжении, МПа	масса, г	внешний вид

По результатам экспериментальных данных делаются выводы о влиянии технологических параметров процесса на качество изделий.

### **3.3. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕРАБОТКИ РЕАКТОПЛАСТОВ МЕТОДОМ ПРЯМОГО ПРЕССОВАНИЯ**

#### **3.3.1. ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ РЕАКТОПЛАСТОВ МЕТОДОМ ПРЯМОГО ПРЕССОВАНИЯ**

Переработка термореактивных пластмасс методом прямого прессования основана на способности прессовочных материалов при нагреве переходить в вязкотекучее состояние, заполнять под давлением пресс-формы, отверждаться в них. При отверждении в материале происходят физико-химические процессы, связанные с переходом из размягченного состояния (стадия В — резол) в твердое (стадия С — резит) неплавкое и нерастворимое, что обусловлено химической реакцией поликонденсации, приводящей к обра-

зованию пространственно-сшитой структуры полимера. Процесс отверждения заканчивается через некоторое время после полного смыкания пресс-формы; это время зависит от исходного состояния полимера, температуры пресс-формы, предварительного нагрева пресс-материала и толщины изделия. Физико-химические основы и подробное описание технологического процесса приведены в работе [2, с. 244—272].

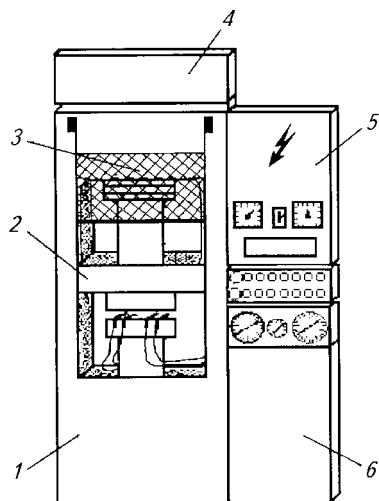
### 3.3.2. ОСНОВНЫЕ УЗЛЫ И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПРЕССА

Прессование представляет собой классический метод формования изделий из отверждаемых пластмасс. Этот метод существует с тех пор, как начали получать изделия из реактопластов в промышленности, и до настоящего времени еще большое количество прессов устаревшей конструкции находится в эксплуатации.

**Принцип работы гидравлического пресса.** Основной характеристикой является прессующее усилие.

По способу передачи энергии от двигателя к прессующему органу прессы подразделяются на механические, гидравлические, пневматические, комбинированные. Гидропрессы подразделяются на прессы с индивидуальным и групповым приводом. Также различают прессы: верхнего или нижнего давления; рамного или колонного оформления, горизонтального или вертикального расположения главного плунжера.

Схема гидравлического пресса представлена на рис. 3.17. Пресс состоит из станины, в верхнюю поперечину которой встроен главный цилиндр. На верхнем торце главного цилиндра установлены бак и клапан наполнения. В левой нише расположен механизм конечных выключателей ползуна. Вся электроаппаратура прессы размещена в отдельном шкафу, закрепленном на стойке станины над гидроагрегатом. Управление прессы осуществляется с пульта управления (см. рис. 3.17, поз. 5).



**Рис. 3.17. Схема гидравлического пресса:**

1 — станина; 2 — верхняя подвижная плита; 3 — главный цилиндр; 4 — масляный бак наполнения; 5 — шкаф электрооборудования; 6 — гидроагрегат

В левой и правой нишах станины установлены цилиндры возврата, а в поперечине — выталкиватель с механизмом конечных выключателей.

Удельное давление рабочей жидкости в гидросистеме измеряется манометром. Рабочей жидкостью является минеральное масло, заливаемое в бак, расположенный в верхней части пресса.

Давление, которое испытывает масло в гидроприводе, передается во все стороны — на стенки труб гидропривода, стенки цилиндра и плунжер пресса. Поскольку подвижной частью рассматриваемой системы является плунжер, то он под действием силы  $Q_{\text{пр}}$  (усилие прессования) будет двигаться вниз. Сила  $Q_{\text{пр}}$  возникает за счет действия давления масла  $p_{\text{м}}$  на площадь плунжера  $F_{\text{пл}}$ , таким образом номинальное усилие пресса  $N_{\text{пр}} = p_{\text{м}}F_{\text{пл}}$ .

Усилие  $Q_{\text{пр}}$  передается через шток на пуансон. При соприкосновении полуформ происходит прессование изделия под действием силы  $Q_{\text{пр}}$ , которая меняется при изменении  $p_{\text{уд}}$ .

Технологу необходимо так подобрать оборудование (пресс), чтобы обеспечивалось требуемое усилие прессования и эффективно использовалась мощность пресса.

Для прессования конкретных видов деталей из различных материалов необходимо приложить определенное удельное давление к пресс-порошку, чтобы оформить его в изделия ( $p_{\text{уд}}$  — давление, приходящееся на площадь проекции поверхности изделия). Зная площадь прессования, можно рассчитать усилие прессования  $Q_{\text{пр}}$ :

$$Q_{\text{пр}} = p_{\text{уд}}F_{\text{изд}}. \quad (3.18)$$

Если число гнезд в пресс-форме больше одного,  $F_{\text{изд}}$  складывается из площадей всех изделий в плоскости разреза формы.

В идеальном случае  $N_{\text{пр}} = Q_{\text{пр}}$ , тогда

$$p_{\text{м}}F_{\text{пл}} = p_{\text{уд}}F_{\text{изд}}.$$

При расчете прессующего усилия для полузакрытых прессформ используется площадь загрузочной камеры.

Чтобы не произошло раскрытие литевой пресс-формы по плоскости разреза от давления материала, площадь загрузочной камеры должна быть больше площади изделий и литников:

$$F_{\text{з.к}} = 1,25F_{\text{д}}nF_{\text{л}}, \quad (3.19)$$

где  $F_{\text{д}}$  — площадь детали в плоскости разреза, см<sup>2</sup>;  $n$  — гнездность пресс-формы;  $F_{\text{л}}$  — площадь литников в плоскости разреза, см<sup>2</sup>.

В характеристике пресса отличают номинальное и эффективное усилие пресса. Номинальное усилие (кН) равно:

$$N_{\text{пр}} = p_{\text{М}}^{\text{max}} F_{\text{пл}}. \quad (3.20)$$

Однако с учетом всех нежелательных сопротивлений, к которым относятся силы трения в уплотнительных узлах основного гидроцилиндра, силы сохранения инерции, силы тяжести плунжера стола, полезное, или эффективное, усилие пресса (кН) составит:

$$N_{\text{эф}} = h N_{\text{пр}}, \quad (3.21)$$

где  $h < 1$  — статический КПД пресса.

Коэффициент полезного действия пресса является величиной переменной и характеризует механические и гидравлические потери энергии.

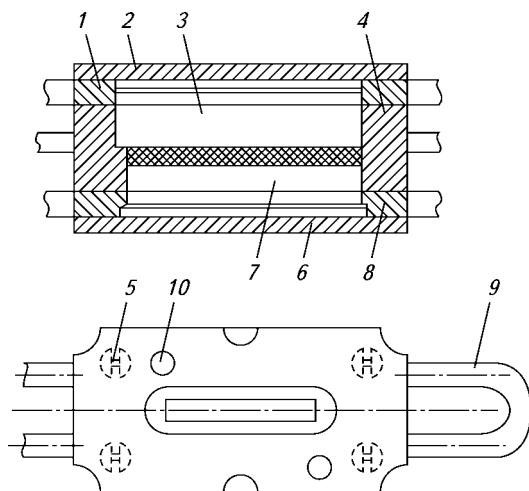
Большое значение имеют устройства управления и регулировки. Современные гидравлические прессы оборудованы устройством управления, которое позволяет воспроизводить все выполняемые операции. Помимо того они снабжены устройством регулирования, обеспечивающим плоскопараллельное смыкание пресс-формы.

Прессы, особенно их крепежные плиты, должны быть крутильно-жесткими.

Управление современными прессами осуществляется с помощью компьютера, который регистрирует все необходимые данные и выводит их на дисплей.

Производители гидравлических прессов предлагают две системы: в первой — нижний плунжер перемещает нижнюю инструментальную плиту навстречу верхней плите, во второй — верхний плунжер смещает верхнюю плиту вниз. Важен тот факт, что обе системы могут быть совмещены с устройствами предпластики или даже с литьевыми агрегатами. Для того чтобы обеспечить возможность позиционированной закладки, в том числе и вставных изделий, существуют прессы, оборудованные раздвижными или поворотными столами. Преимущество этой системы состоит в том, что пока в одной из нижних частей пресс-формы отпрессовываются вставные изделия, из других частей извлекаются готовые изделия и вкладываются новые.

**Описание пресс-формы для изготовления стандартного бруска.** Верхняя часть пресс-формы состоит из плит 1 и 2 (рис. 3.18), между которыми винтами 5 закреплен пуансон 3, установленный на матрице 4. Для исключения смещения матрицы относительно пуансона имеются направляющие колонки 10.



**Рис. 3.18. Пресс-форма на изделие «брусок»:**

1, 2, 6, 8 — плиты пресс-формы; 3 — пуансон; 4 — матрица; 5 — крепежный винт; 7 — вкладыш; 9 — ручка; 10 — направляющая колонка

Нижняя формирующая поверхность матрицы образована вкладышем 7, который закреплен между плитами 6, 8. Пресс-форму переносят с прессы на стол с помощью ручек 9. Сборку пресс-формы производят в следующей последовательности: нижнюю часть пресс-формы, состоящую из вкладыша 7 и плит 6, 8, устанавливают на стол, после чего на нее опускают матрицу 4. При этом направляющие колонки должны войти в отверстия матрицы. Для исключения механического повреждения формы колонки и отверстия изготовлены различного диаметра, поэтому опускать матрицу на плиту произвольно не допускается. В случае неполного смыкания производят постукивание по матрице пластмассовым или латунным молотком.

Верхнюю часть пресс-формы, состоящую из пуансона 3, плит 1, 2, опускают на матрицу и фиксируют колонками. Обычно пуансон опускают на матрицу после загрузки материала, поэтому она полностью смыкается только после приложения усилия прессы. Разборку пресс-формы производят с помощью разъемников. На стол прессы устанавливают сначала одну часть разъемника и на нее опускают пресс-форму (выступающие штанги разъемника должны входить в пазы пресс-формы), а затем вторую часть разъемника.

Весь собранный пакет устанавливают на пресс. При медленном смыкании плита давит через штанги разъемника на плиты пресс-



формы и размыкает их. Данная пресс-форма является пресс-формой полузакрытого типа, поэтому пуансон по размеру больше, чем изделие (брусочек). В нижнем положении пуансон упирается в отжимную кромку матрицы, обеспечивая постоянную высоту изделия, так как избыток материала перетекает в зазор между пуансоном и загрузочной камерой матрицы.

### **Работа 19. Изготовление изделий из реактопластов методом прямого прессования**

**Цель работы:** изучить процесс изготовления изделий из реактопластов методом прямого прессования; исследовать влияние основных технологических параметров прессования на свойства изделий из реактопластов и определить оптимальный режим прессования.

Работа на оборудовании (приборе) разрешается только после изучения устройства, принципа его действия и правил безопасной работы на нем (см. главу 7), прохождения инструктажа по технике безопасности и в присутствии преподавателя или учебного мастера, имеющего специальный допуск.

#### **Содержание работы:**

- 1) изучение устройства пресса;
- 2) изучение устройства имеющихся пресс-форм;
- 3) изучение процесса прессования деталей из пластмасс;
- 4) составление операционной карты на изделие;
- 5) изготовление детали согласно разработанной операционной карте;
- б) проведение физико-механических испытаний полученных образцов согласно соответствующим ГОСТам — определение разрушающего напряжения при сжатии по ГОСТ 4647—71; ударной вязкости (ударного изгиба) по ГОСТ 4647—69; твердости по ГОСТ 4670—77.

**Расчет технологических параметров процесса.** Основными технологическими параметрами процесса прессования терморезистивных материалов являются: температура, время выдержки формы под давлением и удельное давление прессования.

Обычно процесс прессования проводят из таблетированного пресс-материала (см. главу 2), что дает возможность обеспечить более эффективный нагрев, оптимально использовать высоту загрузочной камеры, удалить воздух из материала.

Предварительный нагрев пресс-материала перед загрузкой в форму позволяет повысить его текучесть, частично удалить летучие вещества, ускорить прогрев материала в форме и сократить продолжительность цикла прессования.

Пресс-материал подогревают вне пресс-формы. Для этого существует несколько методов:

предварительный подогрев в термошкафах;  
предварительный подогрев в контактных нагревателях;  
нагрев в генераторах тока высокой частоты и т. д.

В термошкафах не достигается равномерный подогрев пресс-материала. Например, при температуре шкафа и поверхности таблеток 160—180 °С температура внутри таблетки составляет всего 100—110 °С.

Наиболее эффективен высокочастотный (диэлектрический) подогрев таблеток. Установка для такого подогрева представляет собой шкаф, состоящий из электрической части и камеры, в которой между электродами закладывается пресс-материал. В электрической части шкафа осуществляется преобразование тока низкой частоты (50 Гц) в высокочастотный (40—80 МГц).

Достоинствами этого метода являются легкая регулировка и автоматизация процесса нагрева.

Высокочастотный метод подогрева пресс-материалов основан на явлении поляризации диэлектриков в поле токов высокой частоты. Мощность подогрева  $N$  (Вт/м<sup>3</sup>) в этом случае зависит от частоты тока, напряженности электрического поля и свойств пресс-материала:

$$N = 2pf\epsilon_0\epsilon_tg d \cdot E^2, \quad (3.22)$$

где  $f$  — частота тока, Гц;  $\epsilon$  — относительная диэлектрическая проницаемость материала;  $\epsilon_0$  — электрическая постоянная ( $1 \cdot 10^9/36\pi$ ), Ф/м;  $tg d$  — тангенс угла диэлектрических потерь материала;  $E$  — напряженность электрического поля, В/м.

Верхний предел напряженности электрического поля определяется электрической прочностью материала, т. е. напряженностью поля, приводящей к пробоем (разрушению) диэлектрика. Обычно для полимерных материалов электрическая прочность составляет 250—300 кВ/м.

Поскольку все частицы диэлектрика в электрическом поле взаимодействуют одновременно, тепловая энергия выделяется равномерно по всему объему массы. При этом нагрев не обусловлен теплопроводностью материала. Как показывает практика, при использовании высокочастотного метода подогрева пресс-материалов время отверждения в пресс-форме (время выдержки под давлением) уменьшается на 30—50 %, а удельное давление прессования — на 15—20 %.

Время высокочастотного подогрева пресс-материалов  $t_n$  можно найти из уравнения

$$N = C_p r (T_2 - T_1) / t_n, \quad (3.23)$$

где  $N$  — мощность подогревателя ТВЧ, Вт/м<sup>3</sup>;  $C_p$  — удельная теплоемкость пресс-материала, Дж/(кг · К);  $r$  — плотность пресс-материала, кг/м<sup>3</sup>;  $T_1$  — начальная температура материала, К;  $T_2$  — конечная температура материала, К.

С учетом значения диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  находим  $t_H$  (с):

$$t_H = \frac{18C_p \rho (T_2 - T_1) \cdot 10^9}{f \epsilon \text{tg} \delta \cdot E^2 \eta_T}, \quad (3.24)$$

где  $h_T$  — коэффициент, учитывающий потери тепла в окружающую среду (обычно  $h_T = 0,5$ ).

Однако время подогрева должно быть откорректировано с учетом достижения максимальной температуры, обеспечивающей сохранение пресс-материалом вязкотекучих свойств в течение определенного времени до помещения его в формующую полость или в загрузочную камеру пресс-формы:

$$t_{B.T} = A e^{E_a / (RT_2)}, \quad (3.25)$$

где  $t_{B.T}$  — время нахождения материала в вязкотекучем состоянии, с;  $A$  — коэффициент, учитывающий химическую природу материала;  $E_a$  — энергия активации реакции поликонденсации, Дж/моль;  $R$  — универсальная газовая постоянная, Дж/(моль · К);  $T_2$  — температура после предварительного подогрева.

Таким образом,  $T_2$  (К) можно найти из следующего выражения:

$$T_2 = \frac{E_a}{R} \frac{1}{\ln t_{B.T} - \ln A}. \quad (3.26)$$

В приложении к конкретному технологическому процессу, с учетом предварительных операций до стадии отверждения в формующей полости пресс-формы, время нахождения материала в вязкотекучем состоянии ( $t_{B.T}$ ) должно быть больше, чем время, затрачиваемое на загрузку материала в пресс-форму  $t_3$  и на смыкание пресс-формы:

$$t_{B.T} \geq t_3 + H_1/v_1 + H_2/v_2, \quad (3.27)$$

где  $H_1$  — высота опускания подвижной плиты пресса до рабочей части пресс-формы, м;  $H_2$  — высота пресс-материала в загрузочной камере пресс-формы, м;  $v_1$  — скорость опускания подвижной плиты пресса при холостом ходе, м/с;  $v_2$  — скорость опускания подвижной плиты пресса при рабочем ходе, м/с.

Затем находим максимально допустимую температуру предварительного подогрева  $T_2$  (К):

$$T_2 \leq \frac{E_a}{R} \frac{1}{\ln(t_3 + H_1/v_1 + H_2/v_2) - \ln A}. \quad (3.28)$$

Величина  $t_3$ , в зависимости от навыков оператора (прессовщика) и автоматизации операции загрузки, может варьироваться в интервале 20—100 с.

Оптимальное время предварительного подогрева  $t_n$  (с) с учетом изменения напряженности электрического поля, в зависимости от величины воздушного зазора между пластинами рабочего конденсатора высокочастотной (ВЧ) установки и толщины слоя полимера ( $H_n$ ), должно быть равно:

$$t_n \leq \frac{18C_{p\rho}(T_2 - T_1)K_3^2 \cdot 10^9}{f\epsilon\text{tg}\delta \cdot U^2\eta_T}, \quad (3.29)$$

где  $K_3$  — коэффициент, учитывающий наличие воздушного зазора  $h_0$  между пресс-материалом и обкладкой конденсатора;  $U$  — напряжение колебательного контура высокочастотного генератора.

Коэффициент  $K_3$  равен:

$$K_3 = h_0(\epsilon - 1) + H_n, \quad (3.30)$$

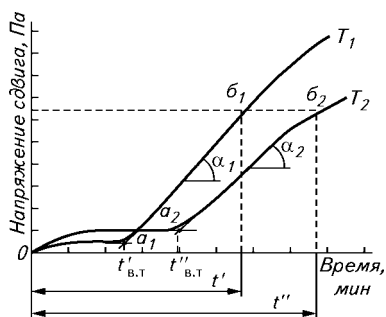
где  $h_0$  — воздушный зазор между пресс-материалом и обкладкой конденсатора установки;  $H_n$  — расстояние между пластинами генератора.

При расчете времени нагрева необходимо учесть, что  $\epsilon$  и  $\text{tg}\delta$  зависят от температуры и частоты электрического поля.

В этих выражениях  $h_0$  и  $H_n$  могут варьироваться. Учитывая эти условия, можно оптимизировать технологические параметры предварительных стадий прессования. Найденные значения параметров высокочастотного нагрева заносятся в графы 35, 36, 37, 38 операционной карты (см. рис. 3.16 и табл. 3.2).

**О п р е д е л е н и е т е м п е р а т у р ы п р е с с о в а н и я.** Для определения температуры прессования, а также структурно-механических свойств отвержденного материала, связанных с химическими реакциями, происходящими в процессе его отверждения, используется пластометр Канавца (см. главу 2). Из полученной на пластометре Канавца графической зависимости, характеризующей процесс отверждения испытуемого пресс-материала при данной температуре, определяют его технологические характеристики. Пресс-материал при нагревании его в пресс-форме переходит в вязкотекучее состояние с мало изменяющейся величиной напряжения сдвига, т. е. вязкотекучее состояние пресс-материала отмечается ходом кривой почти в горизонтальном направлении или под небольшим углом к оси абсцисс — участки  $0a_1$  и  $0a_2$  (рис. 3.19). Крутой подъем кривой на участках  $a_1b_1$  и  $a_2b_2$  указывает на начало быстрого развития процесса отверждения.

Продолжительность вязкотекучего состояния отсчитывается по оси абсцисс от начала отсчета до начала резкого подъема кривой.



**Рис. 3.19.** Кинетика отверждения термореактивных полимеров при различных температурах  $T_1$  и  $T_2$  ( $T_1 > T_2$ ):

$t'_{в.т}$  и  $t''_{в.т}$  — время нахождения полимера в вязкотекучем состоянии при температуре  $T_1$  и  $T_2$  соответственно;  $t\zeta$  и  $t\zeta'$  — время отверждения полимера при температуре  $T_1$  и  $T_2$  соответственно

Пресс-материалы находятся в вязкотекучем состоянии от нескольких секунд до 3 и более минут. Определение времени, необходимого для отверждения пресс-материалов ( $t\zeta$  и  $t^2$ ), может производиться при пересечении кривых с напряжением сдвига равным величине, задаваемой по ГОСТу.

При повышении температуры пресс-формы время пребывания пресс-материала в вязкотекучем состоянии  $t_{в.т}$  уменьшается ( $t_{в.т}^2 < t_{в.т}^1$ ), а скорость отверждения, определяемая углом наклона  $\alpha$ , увеличивается.

Температура прессования находится по справочным данным. Для некоторых пресс-материалов она приведена в приложении П. 13.

Расчет времени выдержки под давлением. Время выдержки под давлением  $t_b$  зависит от температуры (см. рис. 3.19).

Температура загружаемого материала сильно отличается от температуры пресс-формы, поэтому общее время отверждения изделия в пресс-форме  $t_{отв}$  складывается из времени нагревания пресс-материала в форме до температуры отверждения  $t_{наг}$  и времени протекания реакции поликондексации (отверждения)  $t_{отв}$ :

$$t_{отв} = Be^{-\beta T_{отв}}, \quad (3.31)$$

где  $B$ ,  $b$  — постоянные;  $T_{отв}$  — температура пресс-материала, К.

Тогда

$$t_b = t_{наг} + Be^{-\beta T_{отв}}. \quad (3.32)$$

Подобное уравнение можно записать для времени отверждения в пластометре Канавца ( $t_{в.п}$ ):

$$t_{в.п} = t_{н.п} + Be^{-\beta T_{отв.п}}, \quad (3.33)$$

где  $t_{н.п}$  — время нагрева материала в пластометре до температуры отверждения  $T_{отв.п}$ .

Если учесть, что отверждение материала в пластометре до температуры отверждения происходит при температуре, близкой к температуре измерительной камеры пластометра  $T_{\text{п}}$ , то можно записать:

$$T_{\text{отв.п}} = T_{\text{п}} + \frac{Q_{\text{р}}}{2C_{\text{р}}}, \quad (3.34)$$

где  $Q_{\text{р}}$  — теплота реакции поликонденсации;  $C_{\text{р}}$  — теплоемкость материала.

Если принять такие условия для отверждения изделия, тогда температура отверждения изделия будет:

$$T_{\text{отв}} = T_{\text{ф}} + \frac{Q_{\text{р}}}{2C_{\text{р}}}, \quad (3.35)$$

где  $T_{\text{ф}}$  — температура пресс-формы.

Время выдержки под давлением составит:

$$t_{\text{в}} = t_{\text{наг}} + (t_{\text{в.п}} - t_{\text{н.п}}) e^{\beta(T_{\text{п}} - T_{\text{ф}})}. \quad (3.36)$$

Время нагрева определяется по формуле

$$t_{\text{наг}} = \alpha^2 \cdot Fo/4a, \quad (3.37)$$

где  $Fo$  — критерий Фурье;  $\alpha$  — максимальная толщина изделия;  $a$  — температуропроводность материала.

Критерий Фурье является функцией относительной температуры  $Q$  и зависит от формы изделия:

$$Fo = j|Q|; Q = (T_{\text{ф}} - T_{\text{м}})/(T_{\text{ф}} - T_{\text{з}}), \quad (3.38)$$

где  $T_{\text{з}}$  — температура загружаемого пресс-материала;  $T_{\text{м}}$  — температура среднего слоя материала изделия, или температура отверждения:

$$T_{\text{м}} = T_{\text{ф}} - Q_{\text{р}}/2C_{\text{р}}. \quad (3.39)$$

Критерий Фурье определяют по рис. 3.20.

Например, для фенопласта марки 03-010-02:  $t_{\text{в.п}} = 130-180$  с;  $t_{\text{н.п}} = 19$  с;  $\beta = 0,03$ ;  $T_{\text{п}} = 170$  °С;  $a = (9 \cdot 10^{-8}, 14 \cdot 10^{-8})$  м<sup>2</sup>/с;  $Q_{\text{р}} = (32, 48)$  кДж/(кг · К).

**О п р е д е л е н и е д а в л е н и я п р е с с о в а н и я.** Давление должно быть минимальным, обеспечивающим нормальное оформление изделия. Пробные запрессовки производят при этом

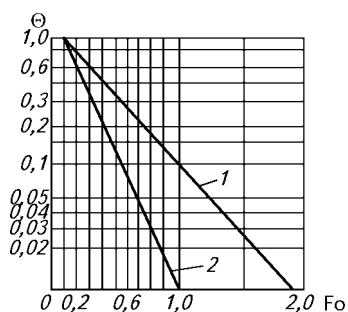


Рис. 3.20. Зависимость  $\alpha = f(F_0)$  для изделий простейшей геометрической формы:

1 — пластина; 2 — брусок

давлению, повышая его в каждой последующей запрессовке до тех пор, пока при данной температуре прессования не получится качественное изделие.

Прежде чем получается изделие в пресс-форме, полимерное сырье должно пройти несколько технологических операций, таких как дозирование, таблетирование, предварительный нагрев.

Для каждого изделия необходимо достаточное количество полимерного сырья. Точная дозировка важна для свойств и дополнительной обработки изделия. Недостаточная дозировка является причиной пористости изделия, чрезмерная — приводит к образованию значительного облоя. Дозирование может быть объемным или весовым. Весовое дозирование требует неизменной кажущейся плотности полимерного сырья, что позволяет избежать колебаний насыпной массы.

Навеска пресс-материала, т. е. количество материала, загружаемого в пресс-форму, зависит от вида прессования, текучести полимера и массы изделия.

**Расчет навески материала.** При прямом (компрессионном) прессовании в пресс-формах закрытого типа навеска определяется по формуле

$$G_n = 1,05(G_{\text{изд}}n + K_1 + K_2), \quad (3.40)$$

где  $G_{\text{изд}}$  — масса изделия;  $n$  — гнездность пресс-формы;  $K_1$  — коэффициент, учитывающий текучесть пресс-материала по Рашигу;  $K_2$  — коэффициент, учитывающий колебания массы таблеток;

$$K_2 = gf/2, \quad (3.41)$$

где  $g$  — отклонение массы таблетки от номинальной;  $f$  — число загружаемых таблеток.

Значения  $g$  приведены ниже:

Масса таблетки, г	2,0—6,0	6,1—20	20—40
Значение $g$ , г	0,1—0,2	0,2—0,3	0,3—0,4

Значения коэффициента  $K_1$  в зависимости от текучести по Рашигу и массы изделия приведены в табл. 3.4.

**Таблица 3.4. Значения коэффициента  $K_1$  в зависимости от текучести по Рашигу и массы изделия**

Текучесть по Рашигу, мм	Значение $K_1$ при массе изделия (г)				
	1—10	10—20	30—50	50—100	100—200
120—180	0,2	0,3	0,7	1	0—2,5
100—120	0,1	0,2	0,5	0,7	1,5
80—100	—	—	0,2	0,3	0,5

При прессовании в пресс-формах полузакрытого типа масса навески рассчитывается по формуле

$$G_{\text{н}} = 1,05 (G_{\text{изд}}n + K_1 + K_2 + r d_0 F_{3,к}), \quad (3.42)$$

где  $r$  — плотность материала;  $d_0$  — толщина обложки ( $d_0 = 0,02 \dots 0,03$  мм);  $F_{3,к}$  — площадь загрузочной камеры, см<sup>2</sup>.

**Разработка операционной карты.** Операционная карта процесса прессования реактопласта представлена на рис. 3.16. Порядок ее заполнения см. в табл. 3.2.

Переходы, содержащиеся в операционной карте процесса прессования, состоят из следующих операций:

- 1) разогрев материала в генераторе токов высокой частоты до температуры, найденной при расчете;
- 2) загрузка материала;
- 3) нагрев до температуры прессования;
- 4) подпрессовка;
- 5) выдержка под давлением;
- 6) извлечение изделия;
- 7) очистка формы.

Найденные при расчете значения времени отверждения заносятся в графу 44 операционной карты процесса прессования, температура прессования (температура нагрева материала) — в графу 37 операционной карты. Полученные значения навески заносятся в графу 14 операционной карты прессования. Если загрузка пресс-формы проводится таблетированным пресс-материалом, то заполняются графы 15, 16, 17.

Подпрессовки (от одной до трех) осуществляются путем подъема пуансона (верхней плиты пресса) на некоторую высоту, что достигается подъемом рукоятки вверх. Время подпрессовок и их число устанавливают экспериментально, они зависят от типа пресс-формы и влажности пресс-материала (графы 52, 53, 54 операционной карты). По окончании подпрессовок смыкают пресс и производят выдержку под давлением ( $t_{\text{в.д}}$ ), необходимую для отверждения пресс-материала.



Прессование деталей (брусков, диск, лопаточки и др.) производят в технологических режимах, соответствующих заданию. Навеску материала берут исходя из плотности применяемого материала и объема прессуемого образца с учетом расходного коэффициента. Плотность пресс-материала выбирают из табл. П. 7 приложения.

Манометрическое давление  $p$ , соответствующее расчетному удельному давлению прессования, устанавливают с помощью регулировочного болта, расположенного в масляном баке наполнения (см. рис. 3.17), перед прессованием.

Согласно разработанной операционной карте проводят процесс изготовления образца и строят графические зависимости, например, прочности при статическом и ударном изгибе, а также твердости от времени выдержки при отверждении.

**Задания на проведение испытаний готового изделия:** исследовать влияние на свойства изделий из пластмасс следующих показателей: 1) температуры прессования; 2) удельного давления прессования; 3) времени выдержки под давлением; 4) предварительного подогрева пресс-материала в генераторе ТВЧ.

**Оформление результатов работы.** При прессовании деталей из пластмасс заполняется операционная технологическая карта прессования, в которой указываются результаты расчетов режимов прессования, марка пресс-порошка, используемое оборудование и инструмент (пресс-формы). Результаты физико-механических испытаний отпрессованных образцов заносятся в табл. 3.5.

**Таблица 3.5. Режимы прессования и свойства изделий**

№ образца	Технологический режим				Физико-механические свойства изделий			
	время предварительного нагрева, с	температура пресс-формы, °С	давление прессования, МПа	время выдержки под давлением, с	разрушающее напряжение при статическом изгибе, МПа	разрушающее напряжение при сжатии, МПа	ударная вязкость, кДж/м <sup>2</sup>	усадка, %

По результатам физико-механических испытаний отпрессованных образцов строят графические зависимости влияния какого-либо технологического параметра на изменение свойств готовых изделий и делают соответствующие выводы о качестве полученного изделия. В случае получения брака указывают причины брака и предлагают способы его устранения.

### 3.4. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕРМОФОРМОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ЛИСТОВ

Технология термоформования типична для переработки полимеров. Ее принцип состоит в обеспечении возможности перевода термопластов при нагреве в высокоэластическое состояние. В этом состоянии они могут быть деформированы без значительного расхода энергии. При охлаждении формованного изделия под нагрузкой оно сохраняет свою новую форму. Термоформование может быть выполнено как вручную, так и с помощью автоматических машин.

#### 3.4.1. ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ТЕРМОФОРМОВАНИЯ

Как видно из диаграмм состояния термопластов, представленных на рис. 3.21 и 3.22, деформируемость и сопротивление пластической деформации этих материалов изменяются в зависимости от температуры. На этих рисунках деформируемость выражена относительным удлинением при разрыве, а сопротивление пласти-

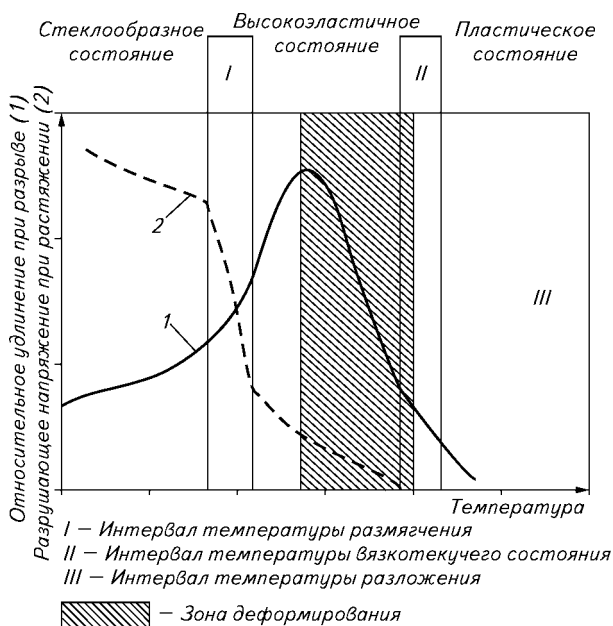


Рис. 3.21. Диаграмма состояния аморфных термопластов

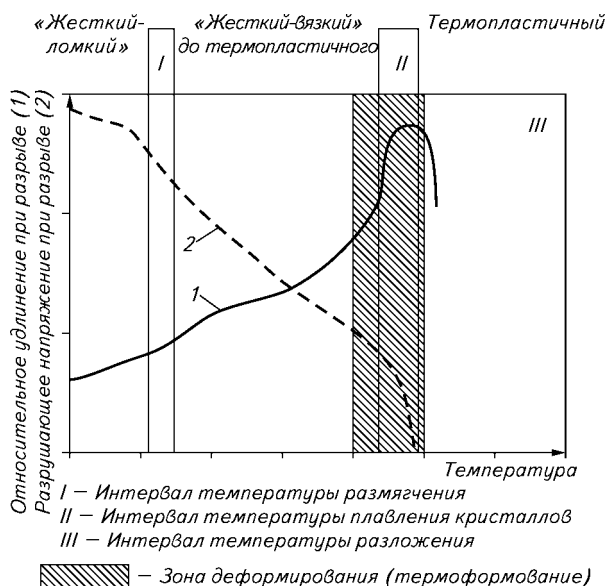


Рис. 3.22. Диаграмма состояния частично кристаллических термопластов

ческой деформации — разрушающим напряжением при растяжении. Различие в поведении аморфных и частично кристаллических термопластов имеет значение и для термоформования.

**Аморфные термопласты** при выходе за пределы интервала температуры размягчения единообразно переходят в высокоэластическое состояние, следовательно, максимум их продольной деформации (максимальные степени деформации) находится в первой половине диапазона высокоэластического состояния.

При термоформовании аморфных термопластов действует следующее правило: в диапазоне максимального растяжения возможна наибольшая степень деформации. Однако здесь велико стремление деформированных деталей вернуться в свое первоначальное состояние, иначе говоря, *теплостойкость изделий невелика*. Напротив, в диапазоне хрупкости при нагреве невозможны высокие степени деформации, но изделия здесь обладают гораздо большей теплостойкостью.

Исходя из этого для аморфных термопластов на практике существуют три диапазона деформирования (см. рис. 3.22 и табл. 3.6).

Частично кристаллические термопласты (см. рис. 3.22) при нагревании ведут себя иначе. В этом случае при превышении диапазона температуры размягчения в высокоэластическое состояние

**Таблица 3.6. Диапазоны температур деформации аморфных термопластов, °С**

Материал	Диапазон деформации 1°С. Высокая степень деформации и высокое стремление к возврату в первоначальное состояние	Диапазон деформации 2 °С. Средняя степень деформации и среднее стремление к возврату в первоначальное состояние	Диапазон деформации 3 °С. Низкая степень деформации, низкое стремление к возврату в первоначальное состояние
АБС-пластик	100—120	120—135	135—150
Полиметилметакрилат	130—140	140—150	150—170
Полистирол	95—115	115—125	125—135
Поливинилхлорид непластифицированный	90—105	105—120	120—150

переходит только аморфная часть полимера, в то время как кристаллические участки усиливают жесткость материала, препятствуя равномерности его деформирования. По этой причине максимум растяжения такого материала обнаруживается лишь вблизи температуры плавления кристаллита. Отсюда можно сделать следующий вывод: частично кристаллические термопласты подвергаются термоформованию при температуре чуть ниже или даже выше температуры плавления кристаллитов. Поскольку в этом температурном интервале (табл. 3.7) материал уже практически пластичен, необходимо очень четко придерживаться температур термоформования, что позволит избежать разрушения материала. Правильный выбор температуры формования позволяет в определенных пределах регулировать механические свойства и разнотолщинность формуемого изделия.

**Таблица 3.7. Диапазон температур плавления кристаллической части для кристаллизующихся термопластов**

Материал	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Диапазон температур плавления кристаллической части, °С
Полиэтилен	0,920	105—107
	0,930	112—117
	0,95	125—131
	0,96	130—135
Полипропилен	0,901—0,906	160—164
Полиоксиметилен	1,41	164—167

В процессе термоформования необходимо согласовывать скорость деформирования с температурой деформации и поведением материала.

Низкие температуры термоформования требуют низких скоростей деформации, а при высоких температурах возможно быстрое деформирование.

Степень деформации — это соотношение окончательных размеров деформированного изделия к исходным размерам заготовки. При этом в основу вычисления могут быть положены как толщина стенок изделия, так и размеры его поверхности.

Степень деформации можно выразить как соотношение глубины вытяжки и двухосного растяжения. Для цилиндрических изделий — это отношение диаметра к глубине деформации.

При деформировании прочность материала повышается в направлении растяжения и снижается в направлении, перпендикулярном направлению растяжения. Одноосная переориентация также приводит к снижению разрывной прочности.

Нагревание термопластичной заготовки занимает приблизительно 50—80 % общего цикла формования.

Учитывая низкую теплопроводность полимера, нагрев заготовки следует осуществлять медленно. По возможности он должен быть равномерным по всему объему заготовки.

На сегодняшний день наибольшее распространение получил разогрев заготовки в инфракрасных лучах. Из-за проникаемости термопластов для инфракрасных лучей излучатели работают в четко определенном диапазоне длин волн (от 1,4 до 3,6 мкм). Листы, толщина которых составляет более 4 мм, следует нагревать с двух сторон.

При проведении процесса нагрева необходимо помнить, что конечная температура заготовки к моменту формования должна отвечать следующим требованиям.

1. Температура наружной, обращенной к нагревателю стороны заготовки должна быть меньше или равна максимально допустимой температуре формования данного термопласта (обычно эта температура соответствует температуре текучести на термомеханической кривой).

2. Температура внутренней (противоположной) поверхности листа при одностороннем нагреве или среднего слоя при двухстороннем нагреве должна быть больше или равна минимально допустимой температуре формования данного термопласта. Так, например, для аморфного полимера эта температура соответствует температуре стеклования или несколько выше ее.

Следующим важным технологическим параметром является усилие формования. Перепад давления, необходимый для формирования того или иного изделия, зависит от толщины и вида материала заготовки конфигурации изделия и скорости вытяжки данного термопласта.

Формующий перепад давления до 0,1 МПа (при вакуумном формовании) применяется при производстве изделий простой формы, без сложных переходов, без тиснения, при степени вы-

тяжки (т. е. отношении высоты изделия к его среднему условному диаметру) не более 0,5 и толщине исходной заготовки до 5 мм.

Для получения глубоких изделий скорость формования должна быть несколько ниже, чем при формовании неглубоких изделий, поскольку при большой глубине вытяжки высокие скорости могут привести к разрыву заготовки.

Скорость вытяжки зависит от толщины листа, температуры и давления формования. Замедленная вытяжка приводит к преждевременному охлаждению и растрескиванию материала, а при слишком быстрой вытяжке может произойти разрыв заготовки или чрезмерное уменьшение стенок в местах углублений и углах изделия. Однако скорость деформации заготовки при вакуумформовании не контролируется, а лишь регулируется изменением формирующего перепада давления и скоростью отсоса воздуха в вакуумный ресивер.

Важное значение имеет режим охлаждения отформованного изделия. Охлаждение изделия осуществляется отводом теплоты стенками формы. Время охлаждения зависит от температуры формы, температуропроводности и толщины стенок изделия. Чем ниже температура формы, тем меньше время охлаждения, однако при быстром или неоднородном охлаждении (когда полимер не одновременно или медленно прижимается к форме) может произойти коробление изделия. Кроме того, при низкой температуре формы затрудняется оформление ребер и острых углов.

Рекомендуемые значения температуры формирующей оснастки для формования изделий из различных материалов приведены ниже:

<i>Материал</i>	<i>Температура оснастки, °С</i>
АБС-пластик	40—45
Винипласт	35—50
Поликарбонат	45—55
Полиметилметакрилат	40—60
Полипропилен	50—0
Полистирол ударопрочный	50—65
Полисульфон	140—165
Полиэтилен высокой плотности	50—70
Полиэтилен низкой плотности	50—70
Этрол ацетилцеллюлозный	110—120

### **3.4.2. ОСНОВНЫЕ УЗЛЫ И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ МАШИН ДЛЯ ТЕРМОФОРМОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ЛИСТОВ**

Машины для термоформования состоят из следующих узлов:  
станина машины;  
нагревательный и охлаждающий агрегаты;

привод;  
фиксирующая рама;  
компрессор или вакуумный агрегат.

Машина может приводиться в действие:

пневматически (сжатым воздухом) — этот вариант не обеспечивает точности перемещения и плохо регулируется;

гидравлически (водой) — этот вариант обеспечивает значительное усилие формования, хорошую регулировку скорости, термочувствительность, однако существуют проблемы с гидравликой;

через редуктор — этот вариант обеспечивает равномерное перемещение, хорошую регулируемость, простоту в техническом обслуживании.

Для комбинирования технологий современные машины для термоформования наряду с основным пуансоном оборудованы еще и верхним штампом.

Наиболее простым и дешевым способом получения изделий из листов является вакуумное формование. Этот процесс основан на разогреве листовой заготовки до температуры размягчения, деформации нагретого листа за счет разности между атмосферным давлением и остаточным давлением в форме, т. е. за счет усилия, воздействующего на единицу площади формируемой заготовки, с последующим охлаждением изделия в форме. Существует несколько способов вакуумного формования: в матрице; с вытяжным толкателем; на пуансоне с предварительной вытяжкой сжатым воздухом; свободное выдувание. Выбор той или иной разновидности данного метода определяется требованиями, предъявляемыми к получаемому изделию.

При использовании вакуумных установок необходимо следить за тем, чтобы скорость откачки воздуха была достаточной для быстрого формования (незначительная продолжительность цикла). Установки также оборудованы вакуумным резервуаром, емкость которого должна быть приблизительно в 7 раз больше максимального отсасываемого объема. Однако резервуары не должны быть слишком большими, чтобы восстановление вакуума внутри резервуара (приблизительно 10 МПа) не длилось слишком долго.

Фиксирующая рама должна быстро регулироваться в соответствии с размером заготовки (площадь и толщина), она должна обладать достаточным усилием смыкания и быть простой в обслуживании.

Современные машины для термоформования снабжены компьютерными системами управления и регулирования, обслуживающими все этапы перемещения, а также процесс охлаждения и нагрева. Это дает возможность изготовления изделий с воспроизводимыми характеристиками (степень ориентации материала из-

**Рис. 3.23. Вакуум-формовочная установка:**

1 — корпус; 2 — пульт управления; 3 — подъемный стол; 4 — пуансон; 5 — нагревательная панель; 6 — нагреватель; 7 — вакуумная система

деля, толщина стенок, разнотолщинность, качество поверхности и т. д.).

Общий вид установки для вакуумного формования представлен на рис. 3.23. На станине смонтированы камера формования, панель приборов, подъемный стол, нагревательная панель, устройство для охлаждения и вакуумный агрегат.

Панель приборов управления 2 содержит приборы управления вакуумным насосом, нагревом формуемого материала и охлаждением отформованного изделия.

Камера формования представляет собой сварную конструкцию, состоящую из нижней неподвижной рамы и верхней прижимной подвижной рамы с противовесом. Камера снабжена замком, обеспечивающим прижим и фиксацию верхней прижимной рамы. Подъемный стол 3 обеспечивает установку на нем формирующего инструмента — пуансона 4. Стол создает герметичность камеры формования при подъеме его в верхнее положение.

Нагревательная панель 5 служит для одностороннего нагрева листовой заготовки из термопластичного материала и состоит из нагревательных элементов и теплоизоляторов.

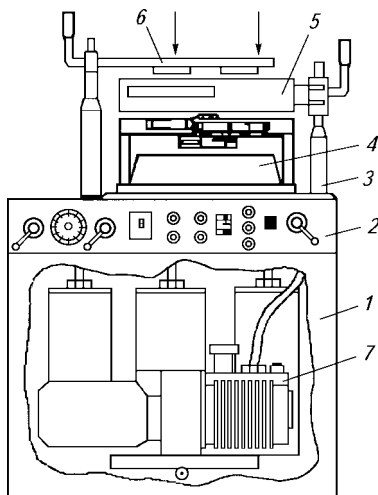
Устройство для охлаждения представляет собой сварную конструкцию и обеспечивает охлаждение отформованного изделия. В качестве охладителя используется воздух, нагнетаемый вентиляторами.

Вакуумная система 7 состоит из вакуум-насоса, ресиверов, коллектора, расположенных на станине, а также кранов и вакуумметра, находящихся на панели приборов управления.

Панель с электропневмовакuumным оборудованием включает в себя блок подготовки воздуха, маслораспылитель, магнитный пускатель, предохранитель со вставкой и блок зажимов.

Местами повышенной опасности при работе на установке являются нагревательная панель, а также движущиеся части (нагреватель, пуансон, толкатель и т. д.).

**Внимание!** Перед заправкой материала необходимо отвести нагревательную панель вправо во избежание ожогов рук. Во время дли-





*тельных перерывов в работе следует отключать нагревательную панель во избежание создания пожароопасной ситуации.*

После отвода панели требуется установить и зажать лист термопласта с помощью прижимного устройства, установить давление воздуха в системе 4—6 кгс/см<sup>2</sup> (0,4—0,6 МПа).

Затем надо включить сетевое питание кнопкой «Пуск», включить вакуум-насос при положениях рукояток кранов «вакуумная камера» и «ресиверы», за глубиной вакуума надо следить по мановакуумметру.

Автоматическими выключателями и тумблерами нужно подключить питание нагревателей панели и повернуть ее влево до упора; пневмораспределителем поднять монтажный стол с установленной формой вверх до упора.

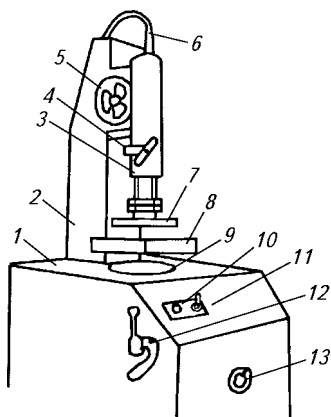
Разогретый материал следует опустить на форму, соединив вакуумную камеру с ресивером и работающим вакуум-насосом. После окончания процесса формования необходимо отвести нагревательную панель и включить тумблером вентиляторы охлаждения; перевести краны в положение «ресиверы» и соединить вакуумную камеру с атмосферой; открыть прижимную раму, снять изделие и опустить монтажный стол.

По окончании работы установку надлежит обесточить с помощью кнопки «Пуск», выключить вакуумный насос, автовыключателем «Стоп» отключить сетевое питание.

**Описание и принцип действия лабораторной установки вакуумного формования в матрицу.** Лабораторная вакуум-формовочная машина (рис. 3.24) состоит из корпуса 1 коробчатого типа, сварного кронштейна 2 с пневмоцилиндром 3. Для ручного перемещения прижимной рамы 7 шток пневмоцилиндра соединен с шестеренчатым приводом, который вращается от штурвала 5. Для фиксации штока применен винтовой стопор 4. На корпусе машины установлен нагреватель 8 и форма 9.

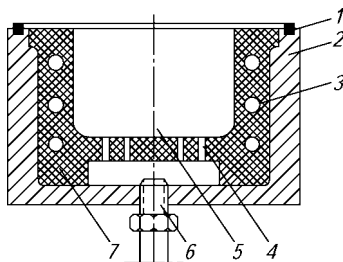
На лицевой панели для включения вакуум-насоса машины находится пусковая кнопка 10 и тумблер 11 для включения нагревателя. Для регулирования силы тока нагревателя на боковой панели смонтирован лабораторный автотрансформатор (ЛАТР) 13. Для управления вакуумной системой установлен двухходовой кран 12, при повороте которого в форме создается разрежение воздуха и происходит формование. Внутри корпуса помещен вакуумный насос с электродвигателем и воздушный ресивер. Охлаждение формы осуществляется водой или воздухом.

Форма для вакуумного формования (рис. 3.25) состоит из корпуса 2 и помещенной в него матрицы 7. В случае необходимости охлаждения формы водой в матрицу 7 вмонтирован трубчатый змеевик 3 для подвода воды. В торец формы уложена уплотнительная прокладка 1, а снизу ввернут штуцер 6 для подключения



**Рис. 3.24. Общий вид лабораторной вакуум-формовочной машины:**

1 — корпус; 2 — кронштейн; 3 — пневмоцилиндр; 4 — винтовой стопор; 5 — штурвал; 6 — соединительный шланг; 7 — прижимная рама; 8 — нагреватель; 9 — форма; 10 — кнопка «Пуск»; 11 — тумблер нагревателя; 12 — двухходовой кран; 13 — ЛАТР



**Рис. 3.25. Форма для вакуумного формования в матрицу:**

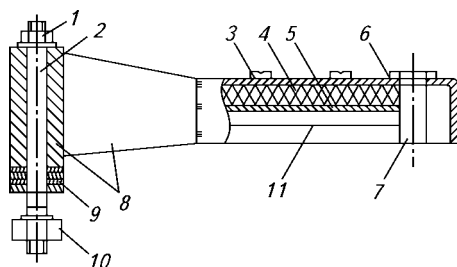
1 — уплотнительная прокладка; 2 — корпус формы; 3 — трубчатый змеевик; 4 — отверстия для отвода воздуха; 5 — формующая полость; 6 — штуцер для создания вакуума; 7 — матрица

ее к вакуумной линии. Днище формы имеет отверстия 4 для откачивания воздуха из формующей полости 5.

Инфракрасный нагреватель (рис. 3.26) закреплен на станине установки с помощью оси 2 и кронштейна 8. Нагреватель состоит из каркаса 6, в котором расположена теплоизоляционная плита 4, отражатель 5 и нихромовые инфракрасные излучатели 11, закрепленные на изоляторах 7. При включении пакетного выключателя ВК-2 электрическое напряжение от сети подается к магнитному пускателю, который при нажатии кнопки «Пуск» замыкает контакты и включает электродвигатель вакуумного насоса. При нажатии кнопки «Стоп» электродвигатель выключается.

При включении пакетного выключателя напряжение подается на ЛАТР (лабораторный автотрансформатор), от которого питается инфракрасный нагреватель. Мощность нагревателя регулируется изменением напряжения на ЛАТРе и контролируется амперметром, включенным последовательно с нагревателем.

При включении вакуум-насоса создается разрежение в ресивере, который соединяется с матрицей формы через пробковый кран. Подъем и опускание прижимной плиты производится вручную штурвалом 5 (см. рис. 3.24).



**Рис. 3.26. Инфракрасный нагреватель:**

1 — гайка; 2 — ось; 3 — защитный кожух; 4 — прокладка из листового асбеста; 5 — отражательный экран; 6 — каркас; 7 — изолятор; 8 — кронштейн; 9 — шайбы; 10 — гайка крепежная; 11 — нагревательный элемент

### **Работа 20. Исследование процесса вакуумного формования**

**Цель работы:** ознакомиться с технологическим процессом изготовления изделий из листовых заготовок методом вакуумного формования; изучить методику расчета технологических параметров процесса; провести исследование влияния технологических параметров процесса на свойства изделий.

Работа на оборудовании (приборе) разрешается только после изучения устройства, принципа его действия и правил безопасной работы на нем (см. главу 7), прохождения инструктажа по технике безопасности и в присутствии преподавателя или учебного мастера, имеющего специальный допуск.

#### **Содержание работы:**

- 1) выбор и расчет технологических параметров процесса формования изделий из листов методом вакуум-формования;
- 2) изготовление изделия при различном времени нагревания листа;
- 3) оценка влияния технологических параметров на величину термической усадки и физико-механические свойства «лопаточек», вырезанных из изделия вырубным штампом;
- 4) определение степени вытяжки при вакуумном формовании.

**Расчет технологических параметров вакуум-формования.** Как показали исследования [1, с. 225], градиент температуры по толщине листа остается во время нагревания практически постоянным, поэтому логично записать:

$$\Delta T = \frac{W\delta}{\lambda S}, \quad (3.43)$$

где  $W$  — тепловая мощность потока;  $\delta$ ,  $S$  — толщина и площадь листа;  $\lambda$  — коэффициент теплопроводности полимера.

Тепловая мощность, расходуемая на нагревание, зависит от температуры формования листа, его массы, теплоемкости полимера.

Масса листа составляет:

$$m = \rho d S, \quad (3.44)$$

где  $\rho$  — плотность полимера.

Тепловая мощность  $W$ , требуемая для нагрева листовой заготовки, равна:

$$W = C_p \rho d S (T_\phi - T_0) / t_n, \quad (3.45)$$

где  $C_p$  — удельная теплоемкость полимера;  $T_0$  и  $T_\phi$  — температура листа до и после нагревания;  $t_n$  — время нагревания листа.

Если принять допустимым температурный градиент  $\Delta T$  с учетом обеспечения нормальных условий формования (т. е. температура листа со стороны нагревания должна быть не выше температуры термодеструкции полимера, а с противоположной стороны — близкой к температуре текучести полимера), можно рассчитать время нагревания:

$$t_n = C_p \rho \delta^2 \frac{T_\phi - T_0}{\lambda \cdot \Delta T}. \quad (3.46)$$

Обычно температурный градиент при расчетах принимают равным 30—40 °С.

Температура формования листа после нагревания будет составлять:

$$T_\phi = (T_v - T_n) / 2, \quad (3.47)$$

где  $T_n$ ,  $T_v$  — температура нижней и верхней сторон листа при одностороннем нагревании (находятся экспериментально).

Равномерность нагревания по площади листовой заготовки достигается правильным распределением секций нагревателей и регулированием их мощности. Регулируя мощность отдельных секций нагревателей, можно увеличивать или уменьшать вытяжку листа в определенных местах изделия и обеспечивать заданное изменение толщины стенки.

Время нагревания листа составляет 50—80 % от всего цикла, т. е. именно этот показатель определяет производительность установки.

Чем больше толщина листа, выше требуемая температура нагрева листовой заготовки, тем больше требуется времени на разогрев его до нужной температуры.

Определить время нагревания листа можно также графоаналитическим методом. Приняв температуру заготовки на верхней и нижней сторонах листа, можем найти безразмерную величину  $\theta$ :

$$\theta = \frac{T_W - T_0}{T_H - T_0}, \quad (3.48)$$

где  $T_W$  — температура на поверхности листа со стороны нагревателя;  $T_H$  — температура на нижней стороне листа;  $T_0$  — начальная температура полимера.

По величине  $\theta$  находят критерий Фурье ( $Fo$ ), используя соответствующую графическую зависимость (рис. 3.27).

Время разогрева рассчитывается по формуле

$$t_H = \frac{\delta^2 Fo}{4a}, \quad (3.49)$$

где  $\delta$  — толщина листа;  $a$  — коэффициент температуропроводности (см. приложение, табл. П.2).

Время охлаждения изделия при двухстороннем отводе тепла рассчитывается по уравнению

$$t_0 = \frac{\delta^2}{\pi^2 a} \ln \frac{4(T_\Phi - T_{\text{охл}})}{\pi(T_d - T_{\text{охл}})}, \quad (3.50)$$

где  $T_\Phi$  — средняя температура листовой заготовки;  $T_{\text{охл}}$  — температура на границе с охлаждающей поверхностью формы;  $T_d$  — температура изделия (детали) после охлаждения.

Температура детали после охлаждения должна быть такой, чтобы изделие при извлечении не коробилось. Для аморфных поли-

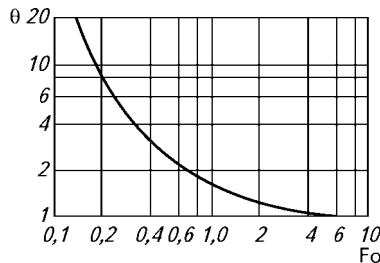


Рис. 3.27. Зависимость критерия Фурье  $Fo$  от величины  $\theta$  для инфракрасного нагревания

меров она должна быть равна  $T_d = T_c - 20^\circ\text{C}$  (где  $T_c$  — температура стеклования), а для кристаллических  $T_d = T_{\text{пл}} - 50^\circ\text{C}$  (где  $T_{\text{пл}}$  — температура плавления).

При одностороннем охлаждении время увеличивается в 4 раза и его определяют по уравнению

$$t_0 = \frac{4\delta^2}{\pi^2 a} \ln \frac{4(T_{\text{ф}} - T_{\text{охл}})}{\pi(T_d - T_{\text{охл}})}. \quad (3.51)$$

**Разработка операционной карты процесса термоформования.** Результаты расчета технологических параметров процесса вакуумного формования сводят в операционную карту процесса (рис. 3.28).

При термоформовании часто приходится сталкиваться с тем, что размеры поставляемых листов не соответствуют размерам листовых заготовок, необходимых для изготовления того или иного изделия. В этом случае производится операция раскроя и вырезки листовой заготовки. Размер листовой заготовки  $L$  для формования объемного изделия можно определить по следующей формуле:

$$L = [nl + 2z + (n - 1)z_1](1 + y/100), \quad (3.52)$$

где  $n$  — число изделий, расположенных вдоль искомой стороны заготовки;  $l$  — размер изделия;  $z$  — припуск на зажим (составляет 10–10 мм в зависимости от габаритов и конфигурации изделия, а также от конструкции зажимного устройства);  $z_1$  — расстояние между гнездами;  $y$  — усадка, % (принимается согласно ТУ или ГОСТ).

Результаты замеров листов и (или) заготовки заносят в графы с 3 по 11 операционной карты. В карте приводятся полные наименования изделия и материала (графы 1, 2), а также наименование и марка формовочной машины (графы 13, 14); номер чертежа формирующего инструмента, его тип, гнездность и т. д. (графы 15, 16); указываются основные технологические параметры процесса, последовательность операций (графа 12) и способы контроля за качеством изделия (графы 19, 20).

Содержание операций и переходов (графа 12) следующее:

- 1) закрепление листа в прижимной раме;
- 2) нагрев до температуры формования;
- 3) деформация нагретого листа с помощью вакуума;
- 4) охлаждение изделия до заданной температуры;
- 5) извлечение изделия;
- 6) механическая обработка деталей.

Карта технологического процесса изготовления (наименование изделия)										Шифр изделия		№ детали		Число деталей на 1 изделие												
Марка	ГОСТ или ТУ	Материал			Норма материала на одно изделие, кг	Размер раскрыя, мм		Число заготовок из листа	Число деталей из листа	Число деталей из заготовки	7	8	9	10	11											
		толщина	ширина	длина		ширина	длина																			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
Содержание операций и переходов	наименование	мощность	наименование	шифр	температура	время	Управление операцией		Нормативы		Профессия	Разряд	время	расценка	время	расценка	время	расценка	кнопка или выключатель	положение	время	расценка	время	расценка	время	расценка
							наименование	шифр	температура	время																
12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26												

Рис. 3.28. Операционная карта технологического процесса формирования объемного изделия из листового термопласта с предварительным раскромом заготовки

### **3.5. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СМЕШЕНИЯ ПОЛИМЕРОВ**

Самым распространенным способом подготовки полимерных материалов к переработке (их модификация, получение композиционных полимерных материалов) является смешение. Под смешением понимают механический процесс распределения исходных компонентов по всему объему системы таким образом, чтобы содержание их в пределах любого достаточно малого объема отклонялось от среднего содержания компонентов в смеси на небольшую допустимую величину. Если содержание каждого компонента в любой точке системы постоянно, то такая смесь называется идеальной.

Смешение полимеров с другими компонентами производят в смесителях различных конструкций (роторных, шнековых, валковых, лопастных). Вальцы являются одним из наиболее простых видов смесителей, обеспечивающих качественное смешение полимеров, находящихся в вязкотекучем состоянии.

#### **3.5.1. ОСОБЕННОСТИ СМЕШЕНИЯ ПОЛИМЕРОВ С РАЗЛИЧНЫМИ КОМПОНЕНТАМИ**

**Сущность смешения на вальцах** заключается в многократном пропускании вязкотекучей смеси через узкий зазор между двумя валками, вращающимися с различной скоростью. Благодаря различной скорости вращения валков между ними возникают высокие напряжения сдвига, которые диспергируют и гомогенизируют компоненты. Чем меньше зазор между валками, тем больше напряжение сдвига. В результате вращения валков навстречу друг другу вязкотекучий материал, загруженный первоначально в виде кусков, затягивается в зазор и при выходе из него прилипает к одному из валков в зависимости от разности температур валков и их окружных скоростей. В результате материал наматывается на один из валков в виде полотна и многократно проходит через зазор между валками. Для качественного перемешивания и гомогенизации полимерной композиции необходимо изменение направления сдвигового воздействия. С этой целью вальцуемое полотно периодически срезают с помощью специальных ножей, снимают с валков и снова запускают в зазор между валками в направлении, перпендикулярном предыдущему направлению смешения. С валков масса срезается отдельными полосами вдоль образующей валка.

Для получения точных и воспроизводимых результатов при изготовлении смесей необходимо строго соблюдать методику из-



готовления смеси и уделять особое внимание всем деталям процесса.

*Первое требование* — изготавливать эталонную смесь или композицию для каждой новой серии смесей и проводить оценку воспроизводимости результатов для этой смеси.

*Второе требование* — проводить всю работу с одной партией материала, если, конечно, она не изменяется в процессе хранения. В результате уменьшается разброс получаемых результатов.

*Третье требование* — устанавливать стандартный и неизменный режим изготовления данной смеси или композиции. Соотношение окружных скоростей валков, температура валков и величина зазора между валками для каждой серии опытов должны быть постоянными. Продолжительность смешения должна быть постоянной. Она может изменяться только в том случае, если сравниваются композиции, содержащие различные объемы наполнителя. Порядок введения компонентов смеси должен быть неизменным для всей серии однотипных смесей.

После изготовления полученную смесь взвешивают. Если масса смеси значительно отличается от теоретически подсчитанной массы (более чем на 3—5 %, в зависимости от требуемой точности состава), то необходимо смесь изготовить заново.

Получение смеси полимера с другими компонентами является подготовительной стадией их переработки.

Для проведения оценки показателей качества композиций необходимы образцы для испытания.

### **3.5.2. ОСНОВНЫЕ УЗЛЫ И ПРИНЦИП РАБОТЫ ВАЛЬЦЕВ**

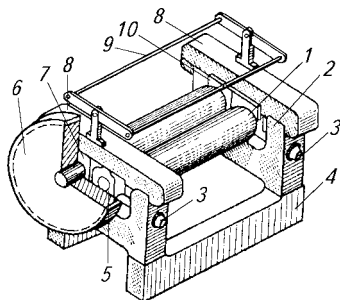
Общий вид лабораторных вальцев представлен на рис. 3.29.

Лабораторные вальцы состоят из станины 2, на которой с помощью стоек с подшипниками 5 и 7 укреплены два валька 1. Станина установлена на фундаментной плите 4. Валки приводятся во вращение электродвигателем через редуктор и шестерню привода 6. Валки соединены между собой шестернями (справа за станиной их не видно). С помощью этих шестерен, называемых фрикционными, можно регулировать (при их замене) окружную скорость валков. Соотношение скоростей вращения валков называется фрикцией ( $f$ ). Фрикция для лабораторных вальцев, используемых в лабораторном практикуме, составляет  $f = 1 : 1,2$ .

Для регулирования зазора между валками подшипники 5 переднего валька могут перемещаться с помощью регулировочных винтов 3 в проемах по направляющим станины 2. От смещения вверх подшипники удерживаются траверсами 8, которые крепятся к ста-

**Рис. 3.29. Общий вид лабораторных вальцев:**

1 — валки; 2 — станина; 3 — винты регулировки межвалкового зазора; 4 — фундаментная плита; 5, 7 и 10 — подшипники; 6 — шестерня привода; 8 — траверсы; 9 — рамка механизма останова вальцев



нине болтами. Для правильной установки зазора регулировочные винты снабжены шкалой.

Валки вальцев устанавливаются в подшипники скольжения 5, 7, требующие постоянной качественной смазки. Смазка осуществляется за счет поворота колпачков масленок по часовой стрелке.

Для быстрого останова вальцев при аварии или несчастном случае имеется рамка механизма останова 9.

Каждый валок имеет регулируемый обогрев. Для этого внутрь валков вставлены трубчатые электрические нагреватели (ТЭНы). Регулирование температуры валков осуществляется изменением подаваемого на них напряжения от лабораторного автотрансформатора (ЛАТР) и контролируется с помощью термпары и потенциометра или по температуре плавления реперных кристаллических веществ.

### 3.5.3. ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА СМЕШЕНИЯ

Основными *технологическими параметрами* процесса смешения полимеров на вальцах являются:

- температура валков, °С;
- зазор между валками, мм;
- навеска смешиваемого материала, г;
- время смешения, мин;
- число пропусканй материала через зазор.

Число пропусканй материала через зазор между валками и время смешения определяются экспериментально для каждого вида смеси. Когда все компоненты смеси введены, то требуется 6—7 срезаний массы с вальцев с повторным ее запусканием и развальцовыванием. Длительность смешения между срезаниями составляет около 15—60 с в зависимости от скорости развальцовывания полимера по поверхности валка.

Температура валков при вальцевании определяется типом смешиваемого материала и зависит в основном от его вязкости. Очень высокая температура, а значит, и низкая вязкость приводят к прилипанию полимера на оба валка, его растеканию за пределы валков. Кроме того, низкая вязкость расплава усложняет

его срезание с валков. Слишком низкая температура и высокая вязкость расплава приводят к тому, что материал не затягивается между валками или падает с валков, не образуя полотна. При правильно выбранной температуре полотно полимера при работе вальцев находится на одном из валков и не оставляет следов на другом валке. При выборе температуры вальцевания следует учитывать, что чем ниже температура и выше вязкость расплава, тем эффективнее идет процесс смешения.

**З а з о р** между валками зависит от объема (навески) смешиваемого материала: чем больше объем материала, тем больше зазор. Зазор подбирается таким образом, чтобы при смешении у входа в зазор между валками всегда был избыточный запас смешиваемой массы в виде вращающегося валика, который называется *вращающимся запасом массы*. Отсутствие запаса массы свидетельствует о том, что установленный зазор велик. Слишком маленький зазор приводит к выдавливанию полимера за пределы валков. При подборе зазора необходимо учитывать, что чем меньше зазор между валками, тем выше напряжение сдвига, действующее на материал, и интенсивнее идет смешение, но и интенсивнее идет механохимическая деструкция полимера. Смешение чрезмерно большого количества материала требует установления большого зазора, что снижает скорость сдвига и делает смешение крайне неэффективным. Поэтому максимальная загрузка смешиваемого на вальцах материала ограничена и определяется геометрическими размерами валков.

Значения технологических параметров зависят от вида смешиваемого материала и указываются в технологической карте процесса смешения.

**Порядок проведения работы.** Работа на оборудовании (приборе) разрешается только после изучения его устройства, принципа действия и правил безопасной работы на нем (см. главу 7), прохождения инструктажа по технике безопасности и только в присутствии преподавателя или учебного мастера, имеющего специальный допуск.

**В к л ю ч е н и е** в а л ь ц е в. Валки, поддон, станина и стол вальцев должны быть чистыми и свободными от посторонних предметов.

Система обогрева запускается в работу путем включения вилки обогрева в сеть с напряжением 220 В и установки с помощью ЛАТРов необходимого напряжения на ТЭНах. Напряжение на ТЭНе каждого валка контролируется по вольтметру. Дожидаются разогрева вальцев до заданной температуры.

Для включения механизма вращения вальцев следует повернуть ручку «0—1», расположенную на лицевой стороне стола, по

часовой стрелке в положение «1». Останавливают вальцы поворотом этой ручки против часовой стрелки.

**Работа на вальцах.** Устанавливают минимальный зазор между валками. Часть навески полимера (2—10 г) высыпают на вальцы, после чего включают вращение валков. После образования полимером полотна оставшийся полимер досыпают на вальцы небольшими порциями (2—10 г). По мере увеличения вальцовой массы вращение периодически останавливают и увеличивают зазор между валками так, чтобы полимерное полотно не выходило за пределы валков, не допуская исчезновения вращающегося запаса массы. Если композиция содержит термостабилизатор, то его вводят после развальцовывания первой порции полимера. После ввода всего полимера и установки оптимальной величины зазора между валками вводят остальные компоненты. Просыпавшиеся на поддон компоненты тщательно собирают и добавляют в вальцовую массу. После ввода всех компонентов массу срезают ножом и снова запускают на вальцы в направлении, перпендикулярном предыдущему направлению вальцевания. Это действие повторяют 5—7 раз, дожидаясь полного развальцовывания массы по валку между срезами (0,5—2 мин). После каждого образца валки, поддон и стол вальцев очищают.

Процесс смешения полимера с другим полимером или иными ингредиентами заканчивается оценкой качества смешения и свойств получаемой композиции, например таких, как деформационно-прочностные, теплофизические, адгезионные и т. д. Для этого необходимо получить соответствующие образцы. Образцы для испытаний могут быть изготовлены различными способами: прессованием, литьем под давлением, экструзией и т. д. в зависимости от вида материала, требований к нему и имеющегося оборудования. В лабораторных условиях образцы могут быть получены, например, на гидравлическом прессе.

### **3.5.4. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОБРАЗЦОВ ИЗ ТЕРМОПЛАСТОВ ПРЕССОВАНИЕМ**

Для определения деформационно-прочностных свойств термопластичных композиций (разрушающего напряжения при растяжении  $\sigma_p$ , модуля упругости  $E$ , относительного удлинения при разрыве  $\epsilon$  и др.) готовят образцы в виде пластин.

Для этого используют съемную форму открытого типа, представляющую собой стальную рамку толщиной 1, 2 или 4 мм, помещенную между двумя шлифованными стальными пластинами. Образующийся внутри конструкции объем и является формирующей полостью. В процессе прессования расплав полимера может прилипнуть к поверхности формы. Для предотвращения такого при-

липания между полимерным материалом и формой прокладывают пленку из полимера, имеющего низкую адгезию к прессуемому материалу и высокую температуру плавления (значительно выше температуры прессования). Например, при прессовании пластин из полиэтилена и полипропилена в качестве антиадгезионной прокладки могут быть использованы пленки из лавсана, целлофана, триацетата целлюлозы.

Процесс прессования термопластов состоит из следующих технологических стадий (в операционной карте технологического процесса прессования эти стадии внесены в графу 11 под названием «Содержание переходов») (рис. 3.30):

- разогрев материала в пресс-форме;
- выдержка под давлением;
- охлаждение материала в форме под давлением;
- сброс давления и извлечение готового изделия.

Для осуществления процесса прессования пресс должен быть оснащен комбинированными плитами. Они содержат плиты, обогреваемые электрическим током, и плиты, охлаждаемые холодной водой.

**Выбор и расчет технологических параметров процесса прессования термопластов.** Основными технологическими параметрами процесса прессования являются:

- навеска материала  $G$ , г;
- температура прессования (температура плит)  $T_{пр}$ , °С;
- время прогрева образца до температуры прессования  $t_{нагр}$ , мин;
- время выдержки под давлением  $t_{в.д.}$ , мин;
- время охлаждения изделия под давлением  $t_{охл.}$ , мин.

Навеска материала  $G$  рассчитывается по уравнению

$$G = 1,2abh\rho, \quad (3.53)$$

где  $a, b$  — ширина и длина окна рамки, см;  $h$  — толщина рамки, см;  $\rho$  — плотность прессуемого материала, г/см<sup>3</sup>.

Наименование операции	Наименование оборудования		Метод изготовления		Усилие прессования	
1	2		3		4	
Наименование, шифр композиции	Текучесть композиции	Влажность композиции	Усадка композиции	Масса		
				изделия	навески	
5	6	7	8	9	10	
Содержание переходов	Прессование			Выдержка		
	рабочая температура	время прогрева	давление	под давлением	при охлаждении	
11	12	13	14	15	16	

**Рис. 3.30.** Операционная карта технологического процесса прессования изделий из термопластичного материала

Расчетное значение навески заносится в графу 10 операционной карты (см. рис. 3.30).

Температура прессования ( $T_{\text{пр}}$ , °C) выбирается несколько выше температуры текучести полимера. Обычно эта разница составляет 10—15 °C. Температура текучести для некоторых полимеров приведена в приложении (см. табл. П.11).

Время прогрева образца зависит от толщины образца и, как правило, выбирается из расчета 10 мин на 1 мм толщины пластины. Разогрев материала проводится при небольшом давлении (0,1—0,4 МПа). Такое давление создается под действием веса подвижной плиты. Выбранные значения перечисленных технологических параметров процесса заносят в графы 12, 13 и 14 соответственно (см. рис. 3.30).

Время выдержки под давлением; в процессе этой операции удельное давление поднимается до 6—10 МПа для того, чтобы материал равномерно распределился по объему формы. Это давление обеспечивается давлением масла в гидросистеме. Длительность процесса выбирается из расчета 5 мин на 1 мм толщины пластины. Найденное значение параметра заносится в графу 15 операционной карты (см. рис. 3.30).

Время охлаждения материала изделия в форме под давлением определяется временем достижения температуры на 10—15 °C ниже, чем температура размягчения по Вика (см. приложение, табл. П.7). Выбранный параметр заносится в графу 16 операционной карты (см. рис. 3.30).

#### **Процесс прессования образца проводят в следующем порядке.**

1. Собирают форму. Для этого навеску образца помещают в рамку между полимерными пленками и металлическими пластинами. При этом форма должна представлять собой многослойную конструкцию, в которой слои располагаются в следующем порядке снизу вверх: металлическая пластина, металлическая рамка, первая полимерная пленка, навеска образца, вторая полимерная пленка, вторая металлическая пластина. Все элементы формы должны быть хорошо совмещены. Прессуемый материал должен находиться посередине рамки.

2. Размыкают плиты пресса. Устанавливают собранную форму с образцом в пресс между охлаждающими плитами, нагретыми до температуры прессования  $T_{\text{пр}}$ . Смыкают плиты пресса, *но без подачи давления* (подача давления в это время привела бы к деформированию полимерной антиадгезионной пленки и к ее разрыву).

3. Выдерживают в таком состоянии образец для прогрева в течение времени, указанного в операционной карте ( $t_{\text{нагр}}$ ).

4. Подают давление до создания необходимого усилия прессования  $N_{\text{пр}}$ :

$$N_{\text{пр}} = pab. \quad (3.54)$$

Давление прессования  $p$  выбирают в пределах 6—10 МПа.

5. Выдерживают образец под давлением в течение времени  $t_{в.д.}$ , указанного в технологической карте (если время не указано, то принимают его исходя из правила: 5 мин на 1 мм толщины образца).

6. Подают в охлаждающие плиты холодную воду из водопровода и выдерживают образец при охлаждении в течение времени  $t_{охл.}$ , указанного в операционной карте (*давление не сбрасывают*).

7. Сбрасывают давление и размыкают плиты пресса, извлекают форму из пресса, смыкают плиты пресса.

8. Разбирают форму, осторожно извлекают образец. Форму очищают от остатков полимера с помощью ножа и наждачной бумаги.

Полученная полимерная пластина должна быть ровной, гладкой, блестящей, без пузырей, раковин, морщин, посторонних включений.

### ***Работа 21. Изучение влияния условий смешения на качество диспергирования наполнителя в термопласте***

**Цель работы:** ознакомиться с приемами введения дисперсных наполнителей в полимеры смешением на вальцах; ознакомление с методикой оценки качества диспергирования наполнителя в полимере; получение наполненных полимеров и оценка качества диспергирования в них наполнителя.

**Исходные материалы:** полиэтилен (ПЭ), технический углерод марки П234, П324 или П515.

**Приборы и оборудование:** лабораторные обогреваемые вальцы, гидравлический пресс, весы, лавсановая пленка (толщина 100 мкм), микроскоп МБИ-9, предметное и покровное стекла для микроскопии, ножницы, пинцет, спирт этиловый.

**Выполнение работы.** Смешением на вальцах двумя способами получают полимерную композицию следующего состава: ПЭ — 97,5 % (мас.) и технический углерод — 2,5 % (мас.)

*По 1-му способу* навеску технического углерода смешивают непосредственно с ПЭ на вальцах.

*По 2-му способу* предварительно приготавливают смешением на вальцах 10 г 30%-го концентрата технического углерода в ПЭ. Затем берут необходимую часть этого концентрата и смешивают его с ПЭ до получения композиции состава: ПЭ — 97,5 и технический углерод — 2,5 % (мас.).

Технологические параметры смешения на вальцах: температура валков 140—160 °С; общая навеска материала при смешении 20 г; время смешения после введения всех компонентов для первого способа 10 мин, для второго способа — по 5 мин на каждой стадии смешения (не менее 6 срезаний на каждые 5 мин смешения).

Из приготовленных образцов получают тонкие пленки толщиной 0,002—0,01 мм и размером не менее 10 ´ 10 мм путем прессования на гидравлическом прессе. При прессовании используют полимерные антиадгезионные пленки и металлические пластины с чистотой поверхности не ниже 10-го класса. Технологический режим прессования: температура плит 170—180 °С; прогрев перед подачей давления 5 мин; выдержка под давлением 5 мин; время охлаждения водой 2 мин. Пленки должны получиться гладкими, блестящими, прозрачными с небольшой дымкой.

Полученные пленки помещают между предметным и покровным стеклами для микроскопии. Для этого на хорошо очищенное предметное стекло наносят маленькую каплю иммерсионной жидкости. От полученной пленки с помощью пинцета и ножниц отрезают кусочек размером приблизительно 5 ´ 5 мм и помещают его на каплю жидкости. На пленку наносят маленькую каплю иммерсионной жидкости, после чего ее накрывают чистым покровным стеклом, которое слегка придавливают пинцетом к предметному стеклу.

Препарированные таким образом образцы помещают в микроскоп и просматривают в проходящем свете при стократном увеличении. Качество распределения технического углерода оценивают путем сравнения картины, наблюдаемой в микроскоп, с тремя стандартными типами распределения по ГОСТ 16338—85.

Качество распределения технического углерода в полимере подразделяется на три типа (ГОСТ 16338—85):

I тип — *хорошее* распределение технического углерода; характеризуется однородным темным фоном без наличия отдельных агломератов;

II тип — *удовлетворительное* распределение, характеризуется однородным темным фоном с наличием незначительного числа мелких агломератов технического углерода;

III тип — *плохое* распределение, характеризуется однородным фоном с наличием большого числа агломератов технического углерода.

Если при стократном увеличении недостаточно четко видно различие в распределении технического углерода, то производят сопоставление образцов при увеличении в 200 или в 600 раз.



**Задание.** По результатам работы сделать вывод о влиянии способа смешения полимера с наполнителем на качество распределения последнего.

### **Работа 22. Получение пластифицированного поливинилхлорида смешением**

**Цель работы:** ознакомиться с методикой получения пластифицированных полимеров; изучить влияние пластификатора на механические свойства полимера.

**Исходные материалы:** поливинилхлорид суспензионный марки ПВХ С-7058, дибутилфталат (ДФФ), дибутилоловодилауринат или стабилизатор барий — кадмиевый, эпоксидная смола ЭД-20.

**Приборы и оборудование:** лабораторные обогреваемые вальцы, весы, ножницы, вырубной нож в виде двухсторонней лопатки, ручной крутильный пресс, разрывная машина, посуда для взвешивания и смешивания порошка.

**Выполнение работы.** Смешением на вальцах (см. раздел 3.5.1) получают две полимерные композиции согласно рецептурной карте (табл. 3.8).

**Таблица 3.8. Рецептурная карта композиций поливинилхлорида пластифицированного**

Компонент	Рецептура 1, % (мас.)	Рецептура 2, % (мас.)
ПВХ	82	57
ДФФ	15	40
Дибутилоловодилаурат	2	2
ЭД-20	11	

Навески компонентов берут из расчета, что каждой композиции необходимо получить по 20 г. Компоненты тщательно перемешивают в стеклянной или фарфоровой посуде и ставят в термощкаф при 70 °С на 10 мин для набухания ПВХ. После выдержки в термощкафу производят смешение компонентов на вальцах.

Технологические параметры смешения на вальцах: температура валков 160 ± 5 °С; навеска материала 20 г; время смешения 5 мин.

Из композиций получают пленки путем каландрования на вальцах. Для этого в конце вальцевания устанавливают зазор между валками 0,2 ± 0,05 мм. Далее срезают вальцуемое полотно ножом и снимают его руками с вращающихся вальцев. Снятое полотно раскладывают на ровной поверхности для охлаждения. Если полимерное полотно сильно прилипло к валкам и не снимается с них, то уменьшают температуру валков на 10—20 °С, заново развальцовывают готовую композицию и повторяют процедуру получения пленки.

Из полученного полотна с помощью вырубного ножа и крутильного ручного прессы вырезают лопатки для механических испытаний на растяжение. Необходимо изготовить по 10 лопаток из каждой композиции: 5 — вдоль и 5 — поперек направления вальцевания.

Затем с помощью разрывной машины определяют разрушающее напряжение при растяжении  $\sigma_p$  и относительное удлинение при разрыве  $\epsilon_p$ . Определение механических характеристик композиций при растяжении производят по методике, описанной в главе 4. Полученные результаты заносят в табл. 3.9.

**Таблица 3.9. Форма представления результатов эксперимента**

№ рецептуры	Содержание ДБФ, %	$\sigma_p$ , МПа		$\epsilon_p$ , %	
		вдоль	поперек	вдоль	поперек

**Задание.** Сделать вывод о влиянии пластификатора и направления каландрования пленки на механические свойства материала.

### **Работа 23. Получение ударопрочного полистирола смешением**

**Цель работы:** ознакомиться с методикой получения ударопрочного полистирола смесевым способом; изучить влияние эластомерной добавки на механические свойства полистирола.

**Исходные материалы:** полистирол (ПС) блочный марки ПСМ-115, дивинилстирольный термоэластопласт марки ДСТ-30 (или каучук дивинильный марки СКД), термостабилизатор ирганокс 1010 (или фенозан-23).

**Приборы и оборудование:** лабораторные обогреваемые вальцы, весы, гидравлический пресс, пресс-форма открытого типа для получения пластинок толщиной 4 мм, разрывная машина, ножовка, напильник, тиски.

**Выполнение работы.** Смешением на вальцах (см. раздел 3.5) получают две полимерные композиции согласно рецептурной карте (табл. 3.10).

**Таблица 3.10. Рецептурная карта композиций ударопрочного полистирола**

Компонент	Рецептура 1, % (мас.)	Рецептура 2, % (мас.)
ПСМ-115	94,8	79,8
ДСТ-30	5	20
Ирганокс 1010	0,2	0,2

Навески компонентов берут из расчета, что каждой композиции необходимо получить по 35 г.

Технологические параметры смешения на вальцах: температура валков  $160 \pm 5$  °С; навеска материала 35 г; время смешения 5–6 мин.

Из композиций методом прессования изготавливают пластины толщиной 4 мм и размером 80 × 100 мм по описанной методике. Из каждой пластины ножовкой нарезают по 8 брусков размером 80 × 10 × 4 мм. С помощью напильника подравнивают неровные края и снимают заусенцы после резания ножовкой. Далее определяют размеры брусков с точностью до 0,01 мм.

Полученные бруски используют для определения ударной вязкости композиций на копре КМ-5, твердости по вдавливанию шарика на твердомере при нагрузке 100 кг и прочности при изгибе  $s_{и}$  на разрывной машине (см. главу 4).

Результаты эксперимента заносят в табл. 3.11.

**Таблица 3.11. Форма представления результатов эксперимента**

№ рецептуры	Содержание ДСТ-30, %	Ударная вязкость, кДж/м <sup>2</sup>	Твердость, МПа	Прочность при изгибе, МПа

**Задание.** Сделайте вывод о влиянии эластомера на ударную вязкость и другие механические свойства стирольного пластика, объясните наблюдаемое влияние.

### ***Работа 24. Изучение влияния дисперсного наполнителя на деформационно-прочностные свойства термопластов***

**Цель работы:** изучить влияние высокодисперсного наполнителя на механические свойства полиэтилена.

**Исходные материалы:** полиэтилен низкого давления (ПЭНД) марки 273-79, белая сажа (аморфный оксид кремния) марки БС-50, термостабилизатор ирганокс 1010 (или фенозан-23).

**Приборы и оборудование:** лабораторные обогреваемые вальцы, весы, гидравлический пресс, пресс-форма открытого типа для получения пластинок толщиной 1 мм, разрывная машина, вырубной нож для получения двухсторонней лопатки, ручной крутильный пресс.

**Выполнение работы.** Смешением на вальцах (см. раздел 5.3) получают три полимерные композиции согласно рецептурной карте (табл. 3.12).

**Таблица 3.12. Рецептурная карта композиций полиэтилена**

Компонент	Рецептура 1, % (мас.)	Рецептура 2, % (мас.)	Рецептура 3, % (мас.)
ПЭНД 273-79	99,8	84,8	69,8
БС-50	0	15	30
Ирганокс 1010	0,2	0,2	0,2

Навески компонентов берут из расчета, что каждой композиции необходимо получить по 20 г.

Технологические параметры смешения на вальцах: температура валков  $160 \pm 5$  °С; навеска материала 20 г; время смешения 5—6 мин.

Из композиций методом прессования изготовить пластины толщиной 1 мм и размером 100 × 100 мм по описанной методике (см. раздел 2.5).

Из каждой полученной пластины с помощью ножа и крутильного пресса вырезают по пять образцов в виде двухсторонней лопатки. Лопатки нумеруют и промеряют рабочую часть с точностью до 0,01 мм. На рабочую часть лопаток наносят две риски на расстоянии 20 мм.

Полученные образцы испытывают на растяжение, при этом определяют предел текучести при растяжении  $\sigma_T$ , разрушающее напряжение при растяжении  $\sigma_p$  и относительное удлинение при разрыве  $\epsilon_p$  композиций на разрывной машине (см. главу 4). Результаты эксперимента заносят в табл. 3.13.

**Таблица 3.13. Форма представления результатов эксперимента**

№ рецептуры	БС-50, %	$\sigma_T$ , МПа	$\sigma_p$ , МПа	$\epsilon_p$ , %

**Задание.** Сделайте вывод о влиянии высокодисперсного наполнителя на механические свойства полиэтилена, объясните наблюдаемое влияние.

## Глава 4

---

# ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛАСТМАСС

### 4.1. ОСНОВНЫЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАСТМАСС

Широкое использование полимерных материалов в народном хозяйстве обусловлено комплексом их физико-механических свойств и главным образом высокой прочностью в сочетании с низкой плотностью, способностью к большому обратимым деформациям и легкостью переработки в изделия.

*Прочность* — это свойство твердого тела сопротивляться разрушению при возникновении в нем напряженного состояния. Напряженное состояние может возникнуть под действием как внешних, так и внутренних сил (внутреннего напряжения).

Механическая прочность — сопротивление механическому разрушению.

Прочность характеризуется величиной *разрушающего напряжения*  $\sigma$ . Разрушающее напряжение может определяться при различных видах деформации — при растяжении ( $\sigma_p$ ), сжатии ( $\sigma_{сж}$ ), изгибе ( $\sigma_{и}$  и т. п.) и в различных внешних условиях (температура, скорость деформации).

Под действием внешних нагрузок происходит разрушение тела в результате разрыва связей между элементарными частицами (молекулами, ионами), образующими его, и распад тела на части. Для полимеров характерны два вида разрушения: хрупкое и пластическое.

*Хрупкое разрушение* — разрушение, которому предшествуют только упругие обратимые деформации; оно характеризуется величиной хрупкой прочности  $\sigma_{хр}$ .

*Пластическое разрушение* — разрушение, которому предшествуют деформации, обусловленные перестройкой элементов структуры тела. Пластическая деформация происходит только тогда, когда *предел текучести*  $\sigma_T$  ниже предела прочности. Поскольку в процессе деформации образца происходит изменение его размеров, а следовательно, и поперечного сечения, то при определении напряжения прикладываемую силу можно относить к площади сечения образца в каждый момент деформации, получая при этом *истинное напряжение*. Отношение силы к площади исходного сечения образца называется *условным напряжением*. Оно обычно определяется для характеристики полимерных материалов.

Деформация полимеров в момент разрушения обычно характеризуется величиной максимальной *относительной деформации*  $\epsilon$ .

Величина  $\epsilon$  зависит от структуры, фазового и физического состояния полимера в момент разрыва. Разрыв хрупкого тела характеризуется малыми значениями  $\epsilon$  (доли процента), а разрыв эластического полимера — значениями  $\epsilon$ , достигающими сотен и тысяч процентов.

В зависимости от условий испытаний в материале могут возникать различные виды деформаций. Деформация материала в статических условиях при постоянном значении  $s$  (или  $\epsilon$ ) характеризуется временем воздействия силы до разрушения образца, называемым *долговечностью*  $t_p$ . Иногда  $t_p$  называют *статической усталостью*. Воздействие на материал нагрузки со скоростью 5—20 м/мин, сопровождающееся его разрушением, называется *ударным разрушением*, а энергия, затраченная на этот процесс и отнесенная к единице поверхности разрушения, — *ударной вязкостью*.

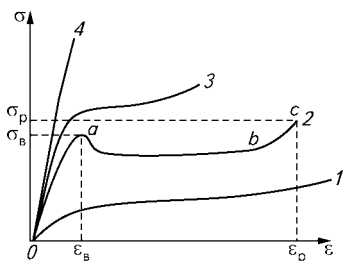
Прочность материалов, испытанных при многократных деформациях (динамических нагрузках), вызывающих постепенное ухудшение свойств полимерных материалов и заканчивающихся их разрушением, характеризуется *сопротивлением утомлению* и называется *усталостью*. Это характеристики прочности при динамическом режиме испытания.

*Деформация* — это изменение формы тела под действием механических напряжений. Общая деформация полимеров складывается из трех составляющих: *упругая* (или *гуковская деформация*), *эластическая* и *деформация течения*.

*Упругая деформация* обусловлена изменением межатомных и межмолекулярных расстояний в теле. Эта деформация полностью обратима, т. е. при снятии напряжения тело приобретает исходную форму.

*Эластическая деформация* обусловлена изменением пространственного расположения макромолекул (изменением конформации макромолекул) с их ориентацией вдоль направления деформирования. Эта деформация характерна только для высокомолекулярных соединений. Она обратима при температуре выше температуры стеклования полимера. При температуре ниже температуры стеклования силы, стремящиеся вернуть макромолекулу в исходное состояние, не способны преодолеть силы межмолекулярного взаимодействия, и макромолекула остается в деформированном состоянии, но при нагревании такого полимера выше температуры текучести высокоэластическая деформация становится обратной.

*Деформация течения* обусловлена перемещением макромолекул относительно друг друга. Эта деформация необратима.



**Рис. 4.1.** Диаграмма напряжение — деформация при растяжении для полимеров в различных физических состояниях:

1 — при  $T > T_{ст}$ ; 2, 3 — при  $T_{хр} < T < T_{ст(пл)}$  (2 — с образованием «шейки», 3 — без образования «шейки»); 4 — при  $T < T_{хр}$

Наиболее распространенной является оценка деформационно-прочностных свойств материала с помощью

диаграмм напряжение — деформация (рис. 4.1).

При температуре ниже температуры хрупкости  $T_{хр}$  в полимере развивается в основном упругая деформация (рис. 4.1, кривая 1). При температуре выше температуры хрупкости, но ниже температуры стеклования  $T_{ст}$  (или температуры плавления  $T_{пл}$ ) в полимерах развивается как упругая, так и эластическая деформация (рис. 4.1, кривые 2 и 3).

На участке *A* (см. рис. 4.1) деформация развивается главным образом за счет упругой составляющей. На участке *ab* деформация в основном обусловлена эластической составляющей и небольшой вклад вносит деформация течения. На участке *bc* имеет место как эластическая деформация, так и деформация течения.

Удельная нагрузка, при которой полимер, находящийся в стеклообразном или кристаллическом состоянии, претерпевает эластическую деформацию, называется *пределом вынужденной эластичности* или *пределом текучести*  $s_B$  (иногда  $s_T$ ) (см. рис. 4.1). *Вынужденно-эластическая деформация* начинается с образования утоньшения («шейки») на небольшом участке растягиваемого образца. По мере развития этой деформации длина «шейки» увеличивается, а нагрузка остается практически неизменной.

Явление вынужденной эластичности характерно для ПС, ПММА, ПВХ, ПЭ, ПП и многих других полимеров с достаточно высокой молекулярной массой при  $T_{хр} < T < T_{ст}$ .

Образование «шейки» у стеклообразных полимеров происходит постепенно (см. рис. 4.1, б, область возле точки *a*), у кристаллических — скачкообразно.

В точке *c* образец разрывается. Эта точка характеризует такие свойства полимера, как  $s_p$  — разрушающее напряжение при растяжении и  $\epsilon_p$  — относительное удлинение при разрыве.

Вынужденная эластичность аморфных полимеров объясняется релаксационной теорией. Время релаксации  $\tau$ , характеризующее скорость перегруппировки элементов структуры, сегментов макромолекул, а следовательно, и скорость деформации, зависит от напряжения  $s_B$  и температуры  $T$ . Для описания этой зависимости

применяют уравнение

$$\tau = \tau_0 \exp \frac{U_0 - a\sigma_B}{kT}, \quad (4.1)$$

где  $\tau_0$  — постоянная (напряжение, соответствующее точке начала отсчета);  $U_0$  — энергия активации процесса релаксации;  $a$  — постоянная, зависящая от величины сегмента цепи;  $k$  — постоянная Больцмана.

Величина  $s_B$  зависит от скорости деформации  $v_d$ :

$$s_B = B + e \ln v_d, \quad (4.2)$$

где  $B$  и  $e$  — постоянные.

Время релаксации  $\tau$  должно быть сравнимо со временем наблюдения (или скоростью деформации), чтобы вынужденная эластичность проявилась при данном  $s_i$ . Такое время может быть достигнуто изменением либо температуры, либо напряжения. Отсюда следует, что  $s_B$  — условная величина, а вынужденная деформация полимера может медленно развиваться при  $s < s_B$ , чем и объясняется ползучесть твердых полимеров в процессе эксплуатации изделий из них. Явление постепенного развития деформации даже при сравнительно невысоких напряжениях получило название *ползучести*. По общей величине ползучести нельзя судить о том, что явилось причиной ее развития, но при определенных условиях общую деформацию можно разделить на необратимую и обратимую. Это обычно делается двумя способами.

Первый способ заключается в том, что после снятия нагрузки деформированному образцу дают возможность полностью отрелаксировать в условиях, обеспечивающих наибольшую скорость релаксации, например при повышенных температурах. При этом обратимые изменения снимаются и, следовательно, остаточная деформация является результатом только процесса течения. Для ускорения релаксации нагревать можно только те полимеры, которые при этом не подвергаются никаким химическим превращениям (деструкции, структурированию).

Второй способ отдельного определения необратимой и обратимой деформации связан с изменением деформации полимера во времени. Временная зависимость общей относительной деформации линейного полимера при постоянном напряжении  $s_B$  выражена кривой ползучести (рис. 4.2).

Для упругого тела деформация точно следует за напряжением во времени и при последовательном нагружении и разгрузке достигает предельного значения и падает до нуля.



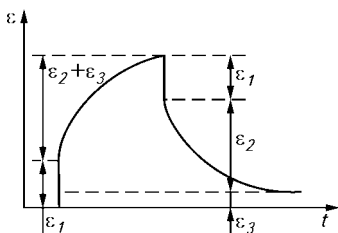


Рис. 4.2. Кривая ползучести полимера

При деформировании вязкоупругого тела вначале возникает упругая деформация  $\varepsilon_1$ , а затем во времени развиваются вязкая и запаздывающая упругие деформации  $\varepsilon_2 + \varepsilon_3$ . При снятии нагрузки мгновенно исчезает часть запаздывающей упругой деформации  $\varepsilon_2$  и остается необратимая деформация  $\varepsilon_3$ .

## 4.2. МАШИНЫ И ПРИБОРЫ ДЛЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

Особенности физико-механических и технологических свойств полимерных материалов предъявляют особые требования к средствам испытания. Лабораторная техника, применяемая для полимерных материалов, состоит из разнообразной номенклатуры машин и приборов. По назначению и областям применения их можно разделить на следующие группы:

машины для статических испытаний (например, различные типы разрывных машин);

машины для ударных испытаний (например, маятниковые копры);

машины для динамических испытаний (например, для испытаний с длительными повторно-переменными нагрузками, усталостных испытаний);

приборы для испытания твердости вдавливанием различной формы инденторов.

### 4.2.1 МАШИНЫ ДЛЯ СТАТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

#### РАЗРЫВНЫЕ МАШИНЫ

**Устройство и принцип работы разрывной машины.** Общий вид разрывной машины представлен на рис. 4.3.

Машина состоит из следующих основных узлов:

привод;

механизм перемещения траверсы;

пульт управления;

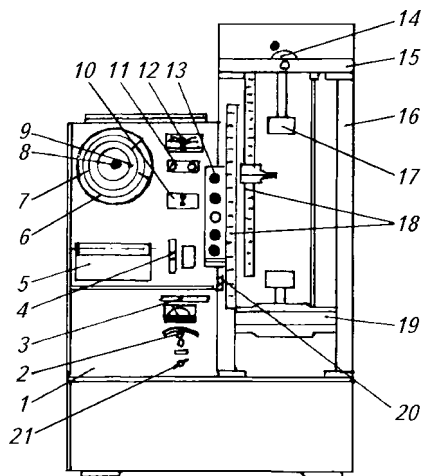
силоизмерительный механизм.

**П р и в о д.** Привод представляет собой сварной каркас, внутри которого размещены одноступенчатый червячный редуктор, шестерни и электродвигатель постоянного тока. Передача вращения от электродвигателя к редуктору осуществляется двумя кли-

новыми ремнями. Электропривод обеспечивает скорость перемещения активного зажима от 5 до 500 мм/мин. Перестановкой ремней можно получить скорость перемещения захвата от 10 до 1000 мм/мин.

Механизм перемещения траверсы. Механизм перемещения траверсы состоит из двух стоек 16 (см. рис. 4.3), укрепленных на плите и соединенных вверху неподвижной траверсой 15. Подвижная траверса 19 перемещается по ходовым винтам. Винты выполнены двухзаходными. Нижние подшипники винтов плавающие, а верхние подпружинены для смягчения удара при разрыве образца. На левой стойке установлены две пары микропереключателей, отключающих привод в крайних положениях подвижной траверсы.

Пульт управления. Пульт управления состоит из сварного каркаса 1 (см. рис. 4.3) и укрепленной на его лицевой стороне панели. На панели размещены все показывающие приборы, механизмы управления и самопишущий прибор 5. Панель разделена на две части. Одним из основных приборов пульта управления является шкала нагрузок 7, которая имеет четыре указывающие стрелки: рабочую, контрольную и две промежуточные. Про-



**Рис. 4.3. Общий вид разрывной машины:**

1 — каркас; 2 — регулятор скорости перемещения подвижной траверсы; 3 — тумблер режимов работы; 4 — регулятор масштабов; 5 — самопишущий прибор; 6 — панель поворотная; 7 — шкала нагрузок; 8 — ручка возврата стрелок; 9 — винт; 10 — переключатель остановки привода при разрыве образца; 11 — рукоятка настройки силоизмерителя на ноль; 12 — переключатель диапазона нагрузок; 13 — кнопочная станция; 14 — арретир; 15 — верхняя траверса; 16 — стойка; 17 — захват; 18 — линейка; 19 — подвижная траверса; 20 — винт переключения масштаба; 21 — выключатель

межуточные стрелки показывают нагрузку по заданной деформации. Остановка промежуточных стрелок осуществляется электромагнитами, укрепленными на корпусе шкалы нагрузок. Электромагниты получают сигнал от выключателей, расположенных на линейках для измерения деформации. Если промежуточные стрелки для работы не нужны, их достаточно застопорить винтом 9 зубчатого сектора. Другой важной частью пульта управления является регулятор масштабов 4, снабженный обгонными муфтами. При сцеплении колеса редуктора с коническими колесами обгонных муфт включается запись диаграммы. Для записи диаграммы нагрузка — деформация надо установить регулятор масштабов 4 в положение «1» или «10». При обратном ходе барабан самопишущего прибора не вращается. В нижней части пульта управления размещены блоки управления приводом и панель управления машиной.

**Силоизмеритель.** Машина снабжена тремя силоизмерителями на предельную нагрузку 5, 50 и 500 кгс (~50, 500 и 5000 Н). Работа проводится с одним из силоизмерителей в зависимости от нагрузки. Нужный силоизмеритель устанавливается на верхней траверсе механизма перемещения и закрепляется болтами. Силоизмеритель соединяется с захватом с помощью переходной тяги. Измерение деформации осуществляется линейками 18 (см. рис. 4.3). Предусмотрено два типа линеек: для измерения деформации по меткам и для измерения по захватам. Линейка для измерения деформации по меткам состоит из линейки, движка и двух поворотных индексов, один из которых является частью линейки (верхней), а другой — частью движка. Для фиксации двух нагрузок на линейке установлены два конечных выключателя, которые могут перемещаться по ней. Для установки любого из выключателей на заданную деформацию надо совместить верхнюю кромку движка с заданной точкой на линейке, выключатель установить так, чтобы его зона совпадала с нижней кромкой флажка, укрепленного на диске. После этого движок устанавливают в начальное положение в зависимости от расчетной длины образца (на делениях 10, 20, 25 мм). Линейка для измерения деформации по захватам закреплена на левой стойке механизма перемещения траверсы. Настройка линейки на заданную деформацию производится так же, как и настройка линейки по меткам. Питание машины осуществляется включением сетевого выключателя 21.

Тумблером 3 задается автоматический или ручной режим работы. Переключателем 12 устанавливается соответствующая предельная нагрузка; рукоятками 11 «Установка нуля точно», «Установка нуля грубо» рабочая стрела шкалы нагрузок устанавливается на нуль. С правой стороны пульта управления находится кнопочная станция 13 с обозначениями «Вверх», «Вниз», «Ускорение

вверх», «Стоп», «Сброс». Кнопка «Сброс» служит для освобождения промежуточных стрелок. Возврат на нуль контрольной и промежуточной стрелок производится ручкой 8. Скорость деформации регулируется ручками регулятора 2 с соответствующими надписями. Ручкой регулятора 4 включается запись деформации и задается ее масштаб.

**Порядок работы на машине** следующий:

установить рулон диаграммной бумаги в самопишущий прибор, закрепить подвеску на конце ленты (для установки рулона бумаги надо поднять крышку самопишущего прибора);

в зависимости от вида испытания установить соответствующий силоизмеритель и захваты;

включить нужный диапазон измерения нагрузки;

установить стрелку силоизмерителя на нуль ручками регулятора 2 (см. рис. 4.3);

настроить захваты на нужную длину образца, одновременно установить скорость деформации;

настроить линейку на нужную деформацию;

установить нужный масштаб записи деформации (включать на ходу!);

заполнить перо чернилами и опустить его на бумагу;

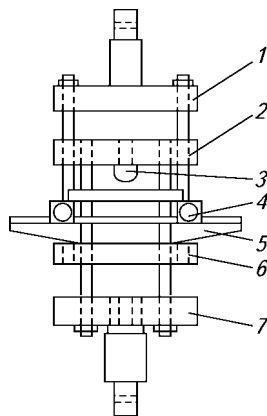
зажать образец в захватах, предварительно зафиксировать пассивный захват;

освободить пассивный захват;

установить стрелку фиксации нагрузок на нуль ручкой 8 (см. рис. 4.3).

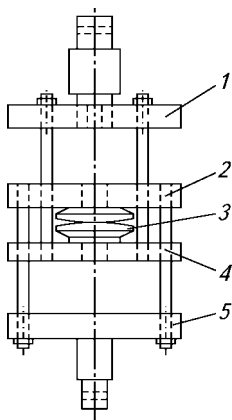
Испытания на статический изгиб могут быть выполнены на разрывных машинах, снабженных специальной приставкой, называемой реверсором (рис. 4.4). На этих машинах можно одновременно определять и изгибающее напряжение, и величину прогиба. Прогиб определяется как расстояние, на которое отклоняются от своего первоначального положения верхняя и нижняя поверхности испытуемого образца при приложении нагрузки.

При испытании образец должен широ-



**Рис. 4.4. Схема приставки (реверса) к разрывной машине для испытания образцов на статический изгиб:**

1 — верхняя тяга; 2 — траверса; 3 — пуансон; 4 — опора для образца; 5 — планка с опорами; 6 — нижняя траверса; 7 — нижняя тяга

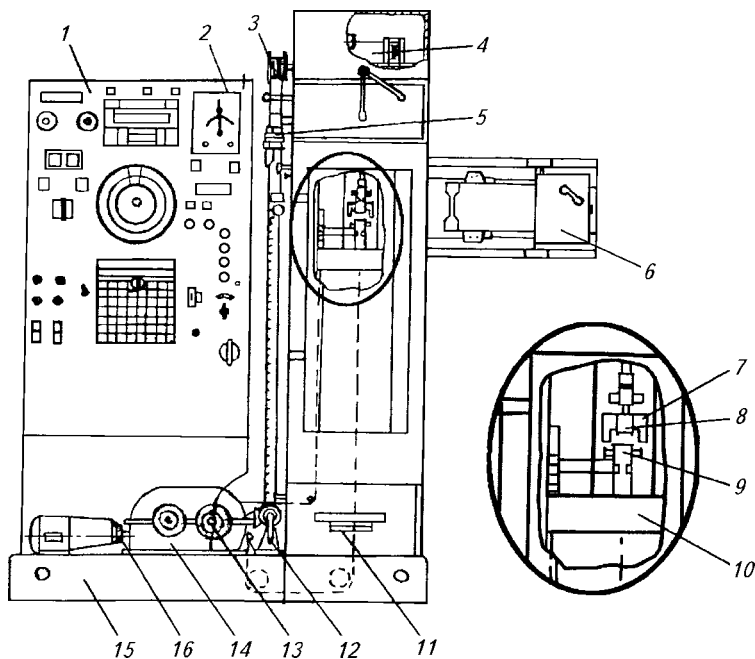


**Рис. 4.5. Схема приставки (реверсора) для испытания пластмасс на сжатие:**

1 — верхняя тяга; 2 — верхняя траверса; 3 — диски; 4 — нижняя тяга; 5 — нижняя траверса

кой стороной свободно лежать на опорах. Расстояние  $l$  между опорами должно соответствовать величинам, рассчитанным по уравнению (4.13). Радиус закругления пуансона должен быть  $5 \pm 0,1$  мм. Испытание термопластов и реактопластов проводят при температуре  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ . Скорость приложения нагрузки устанавливают в пределах 20—60 мм/мин.

Для определения разрушающего напряжения при сжатии используются разрывные ма-



**Рис. 4.6. Общий вид разрывной машины с термокриокамерой:**

1 — пульт управления; 2 — устройство для замера деформации; 3 — промежуточный барабан; 4 — преобразователь силы; 5 — установка конечных включателей; 6 — механизм загрузки образцов; 7 — механизм раскрытия захватов; 8, 9 — сменные захваты; 10 — траверса; 11 — термокриокамера; 12 — ручной привод; 13 — редуктор; 14 — механический привод; 15 — основание; 16 — клиноременная передача

шины, позволяющие осуществить сжатие образца и обеспечить измерение нагрузки с погрешностью не более 1%. Для испытаний можно использовать разрывные машины, имеющие приставки с двумя плоскопараллельными площадками, одна из которых самостанавливающаяся. Для закрепления образца и создания нагрузки используется приставка (реверсор) (рис. 4.5).

**Разрывная машина с термокриокамерой.** Разрывные машины, снабженные термокриокамерой, позволяют определять разрушающее напряжение при растяжении и относительное удлинение при разрыве в интервале температур от  $-90$  до  $300$  °С. На них можно испытывать образцы полимеров при однократном растяжении при температуре окружающей среды. Те же испытания можно проводить при повышенных и пониженных температурах, а также в режимах циклической деформации, циклической нагрузки при повышенных и пониженных температурах.

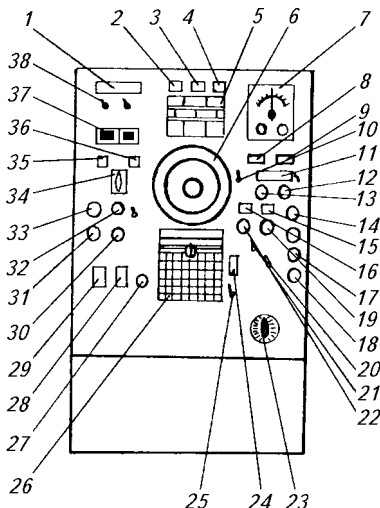
Общий вид разрывной машины представлен на рис. 4.6.

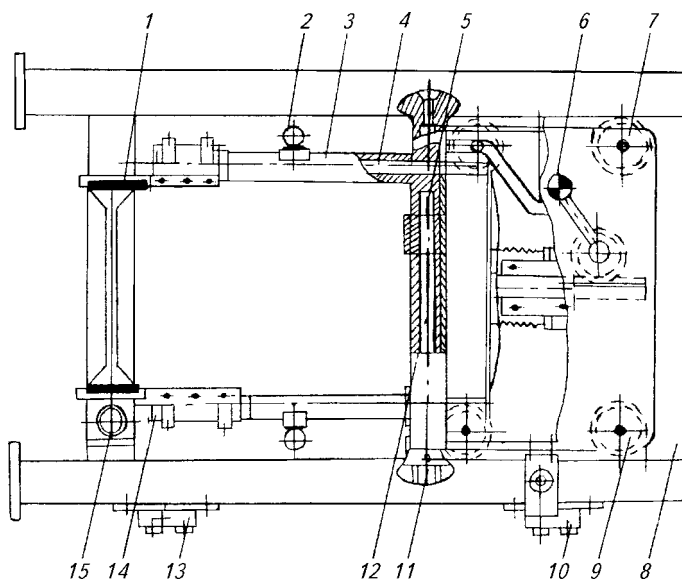
Пульт управления разрывной машины с термокриокамерой представлен на рис. 4.7.

Механизм загрузки образцов разрывной машины с термокриокамерой (рис. 4.8) состоит из верхнего 1 и нижнего 14 зажимов, закрепленных на удлинителях 3,

**Рис. 4.7. Пульт управления разрывной машины с термокриокамерой:**

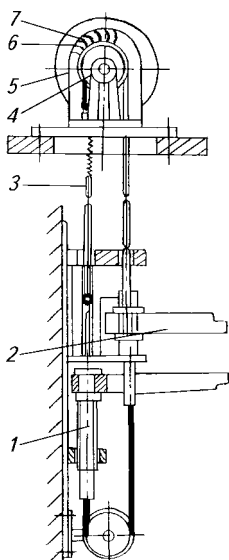
1 — амперметр; 2, 3, 4 — сигнальные лампы соответственно привода, сети и закрытия арретира; 5 — электронный потенциометр контроля температуры в термокриокамере; 6 — отсчетное устройство нагрузки при испытании; 7 — блок управления силоизмерителя; 8 — счетчик числа циклов нагружения; 9 — выключатель схемы измерения перемещения активного захвата; 10 — переключатель диапазонов измерения скорости перемещения активного захвата; 11 — указатель скорости перемещения активного захвата; 12 и 13 — ручки задания скорости перемещения «Плавно» и «Грубо» соответственно; 14 — кнопка «Вниз» движения захватов; 15 и 16 — сигнальные лампы открытия и закрытия захватов; 17 — кнопка включения привода ускоренного возврата активного захвата; 18 — кнопка «Стоп»; 19 — кнопка закрытия захватов; 20, 24 — ручки управления скоростью движения диаграммной ленты; 21 — кнопка включения электродвигателя закрытия захватов; 22 — кнопка открытия захватов; 23 — рычаг включения привода для проведения испытания; 25 — тумблер включения электродвигателя привода диаграммного устройства; 26 — диаграммное устройство; 27 — выключатель перемотки диаграммы; 28 — автоматический выключатель нагревательной камеры; 29 — автоматический выключатель всей электросхемы машины; 30 — кнопка остановки электродвигателя вентилятора; 31 — кнопка остановки электродвигателя машины; 32 — кнопка пуска электродвигателя вентилятора; 33 — кнопка пуска электродвигателя привода машины; 34 — переключатель режима работы камеры; 35, 36 — сигнальные лампы режима работы камеры; 37 — блок задания регулирования температуры в камере; 38 — регулятор тока испарителя





**Рис. 4.8. Механизм загрузки образцов разрывной машины с термокамерой:**

1 — верхний зажим; 2 — рукоятка для раскрытия зажимов 1 и 14 для установки образцов; 3 — удлинитель; 4 — винт; 5 — ползун; 6 — рукоятка; 7 — коробка; 8 — рама; 9 — ролик; 10, 13 — микропереключатели; 11 — маховик; 12 — винт; 14 — нижний зажим; 15 — кнопка «Зажим открыт»



которые, в свою очередь, соединены с ползуном 5, имеющим возможность перемещаться по направляющим рамы 8. Удлинитель вместе с ползунами могут перемещаться в вертикальной плоскости для установки соответствующего расстояния между зажимами в зависимости от длины образца. Раскрытие зажимов 1 и 14 для установки образца производится с помощью рукоятки 2 и клиньев, расположенных внутри удлинителей. Образец сначала заводится в верхний зажим и перемещением рукоятки 2 в крайнее положение зажимается; после этого таким же способом зажимается образец в нижнем зажиме. Образец, закреп-

**Рис. 4.9. Механизм раскрытия захватов разрывной машины с термокамерой:**

1 — винт регулирования; 2 — планка; 3 — трос; 4 — ролик; 5 — двигатель; 6 — микропереключатель; 7 — упор

ленный в зажимах, подается в термокриокамеру к предварительно раскрытым захватам. Микропереключатели подают сигнал на автоматический зажим образца захватами машины.

Механизм раскрытия зажимов разрывной машины с термокриокамерой (рис. 4.9) состоит из планок 2, которые с помощью гаек закреплены на винтах 1. В зависимости от расстояния между захватами расстояние между планками может регулироваться от 44 до 178 мм. Движение на планки для раскрытия захватов передается от электродвигателя РД-09-5 роликом 4 и тросом 3.

### ОСНОВНЫЕ УЗЛЫ И ПРИНЦИП РАБОТЫ МАШИНЫ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ НА СТАТИЧЕСКИЙ ИЗГИБ

Машина состоит из станины, гидропривода, силоизмерительного механизма и приспособления для замера прогиба образца. Общий вид машины представлен на рис. 4.10.

Гидропривод машины смонтирован на станине 12, на которой закреплен силоизмерительный механизм, состоящий из рычажной системы с грузами, круговой шкалы 8 и стрелок 6 и 7 указателя нагрузки, а также из нажимной головки 3.

Электродвигатель гидропривода включается в сеть основным и пусковым тумблерами 1, а скорость нагружения образца регулируется рукояткой 13. Подъем образца с опорами производится рукояткой переключателя 14.

Образец для испытания в виде стандартного бруска устанавливается на две опоры 10, расстояние между которыми выбирается в зависимости от размеров бруска.

Масляный насос 12 (рис. 4.11), приводимый в действие от электродвигателя 11, подает масло в цилиндр 9. При этом поршень 10 перемещается вверх. К его штоку прикреплен предметный стол 8, на опоры которого 7 кладется образец 6.

При соприкосновении образца с нажимной головкой 5 начинается испыта-

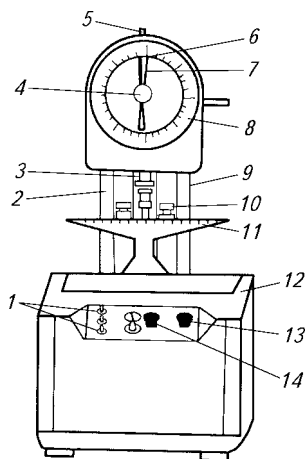
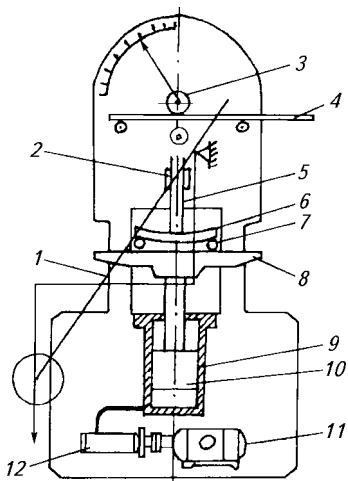


Рис. 4.10. Общий вид машины для испытания на статический изгиб:

1 — тумблеры включения машины; 2 — измеритель прогиба; 3 — нажимная головка; 4 — винт для перемещения стрелки фиксатора нагрузки; 5 — переключатель шкалы диапазонов нагрузки; 6 — ведущая стрелка; 7 — стрелка фиксации показания нагрузки; 8 — круговая шкала измерения нагрузки; 9 — опорная колонна; 10 — опоры для установки образца; 11 — предметный стол; 12 — станина; 13 — ручка регулирования скорости; 14 — ручка переключения направления движения предметного стола





**Рис. 4.11.** Схема прибора для испытания пластмасс на изгиб:

1 — маятник; 2 — «мера»; 3 — шестерня; 4 — зубчатая рейка; 5 — нажимная головка; 6 — образец; 7 — опора; 8 — предметный стол; 9 — цилиндр; 10 — поршень; 11 — электродвигатель; 12 — масляный насос

ние на изгиб. Под влиянием усилия, действующего между образцом и нажимной головкой, образец прогибается, а нажимная головка отклоняет маятник 1, удлинение которого перемещает зубчатую рейку 4 по направляющей. Зубчатая рейка сцепляется с шестерней 3, вращая ее вместе с укрепленной на ней стрелкой. Стрелка показывает по круговой шкале мгновенное нагрузочное усилие. Путь зубчатой рейки изменяется линейно в зависимости от усилия, следовательно, круговая шкала размечена равномерно.

Измерительная линейка («мера») 2, расположенная на нажимной головке, выступающий язычок которой приводится в движение предметным столом, измеряет разность двух смещений, т. е. прогиб. Смещение предметного стола складывается из прогиба и вертикального смещения нажимной головки.

К поршневому штоку прикреплен предметный стол 8. На нем установлены регулируемые и сменные опоры 7, расстояние между которыми должно быть 20—300 мм. Направляющими стола служат выступающие из шкалы колонны, одновременно держащие силоизмерительное устройство.

Образец, помещенный на предметный стол, согласно движению поршня перемещается вверх и соприкасается с нажимной головкой 5 (см. рис. 4.11).

После соприкосновения образца при его перемещении с нажимной головкой возникает изгибающая нагрузка, приводящая к прогибу образца и к перемещению вверх нажимной тяги. Нажимная тяга смещает валик маятника и установленный на нем груз. Отклонение маятника от вертикали фиксируется механизмом часового типа, как в обычных рычажных весах.

Нагрузка увеличивается в зависимости от угла поворота, величину которого показывает стрелка 6, перемещающаяся перед круговой шкалой 8 (см. рис. 4.10). Стрелка уносит с собой вторую фрикционную стрелку 7. Величина, показываемая фрикционной стрелкой, равна максимальному усилию.

**Рис. 4.12. Рейка для замера величины прогиба:**

1 — язычок; 2 — пальцы; 3 — корпус рейки; 4 — винтовой стержень; 5 — рифленая гайка

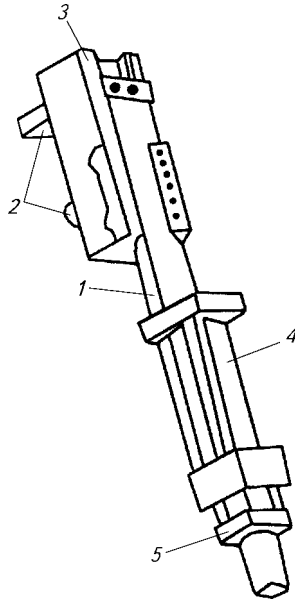
Переключателем (штифтом) 5 (см. рис. 4.10) шкалу силоизмерителя можно переставить на три диапазона измерения: 50, 100, 200 кгс (500, 1000, 2000 Н). Винт 4 предназначен для возврата фрикционной стрелки.

Прогиб образца при его испытании измеряется с помощью измерительной линейки, закрепленной на силоизмерительной нажимной головке 5 (см. рис. 4.11).

Длину рейки можно устанавливать согласно толщине образца. Точность отсчета измерения прогиба 1/20 мм. Точность деления уравнивательной шкалы 1/10 мм.

Корпус рейки 3 (рис. 4.12) ставится на нажимную головку 3 (см. рис. 4.10) с помощью двух пальцев 2 (см. рис. 4.12), выступающих из рейки. Язычок 1 рейки (см. рис. 4.12) движется в корпусе рейки, и достигнутое им положение сохраняется за счет силы трения. Язычок рейки приводится в движение рычагом, находящимся на предметном столе.

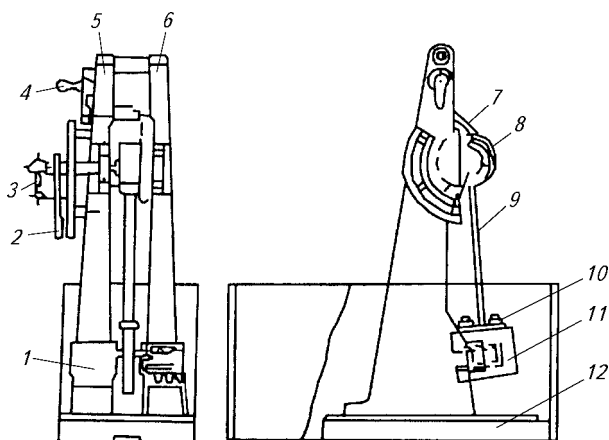
Винтовой стержень 4, выступающий из язычка рейки, устанавливается по толщине образца рифленой гайкой 5. Конец винтового стержня при перемещении стола сталкивается с рычагом, затем стол вдавливает язычок рейки в корпус. Смещение язычка в корпусе дает разность между смещением стола и смещением нажимной головки, т. е. прогиб. Наибольший измеряемый прогиб 20 мм при толщине образца 45 мм. При разломе образца установленный на столе рычаг падает, при этом прекращается связь между столом и язычком рейки.



#### 4.2.2. МАШИНЫ ДЛЯ УДАРНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Одной из машин для ударных испытаний является маятниковый копер КМ-05. Общий вид маятникового копра представлен на рис. 4.13.

Копер состоит из чугунного основания 12, на котором укреплены две стойки 5 и 6. На стойках в шарикоподшипниках смонтирован маятник 9 со сменным молотом 11. На оси маятника жестко укреплено спусковое колесо 8, позволяющее с помощью фиксато-



**Рис. 4.13. Общий вид маятникового копра:**

1 — образец; 2 — шкала; 3 — стрелка; 4 — спусковая ручка; 5, 6 — стойки; 7 — фиксатор; 8 — спусковое колесо; 9 — маятник; 10 — болты для фиксации молота; 11 — молот; 12 — чугунное основание

ра 7 устанавливать молот в трех различных положениях. Для спуска маятника на стойке имеется ручка 4.

Маятник массой  $m$ , поднятый на определенный угол и имеющий высоту центра тяжести  $h$ , будет обладать запасом энергии  $E = mgh$ .

После свободного падения и встречи с образцом маятник, затратив на его разрушение часть запаса энергии, поднимется на определенный угол, при котором его центр тяжести займет положение на высоте  $h_1$ . Закрепленный на оси маятника поводок при подъеме после разрушения образца поднимет стрелку на высоту, пропорциональную  $h_1$ . Стрелка отметит на шкале затраченную на разрушение энергию. При обратном ходе маятник следует остановить рукой.

Расстояние между опорами может изменяться и устанавливаться в пределах от 40 до 100 мм в зависимости от длины образца. Для установки образца с надрезом прибор снабжен специальным шаблоном.

Основной характеристикой копра является запас энергии, определяемой как произведение массы маятника на расстояние от оси его качания до центра тяжести и центра удара.

Образец полимера (10 ~ 15 ~ 120 мм) устанавливается на опорах шириной стороной под удар. Удар производится молотом по средней части образца. Центр удара устанавливается строго по меткам, для этого на приборе есть шкалы вертикальная и горизонтальная.

Центр тяжести молота (обозначен рискуй на молоте) приходится на центр удара. Поднятый маятник имеет определенную потенциальную энергию. При опускании маятника потенциальная энергия переходит в кинетическую и часть ее расходуется на разрушение образца. Она характеризуется работой ( $H \cdot m$ ), которая расходуется на разрушение образца. Работа разрушения образца, отнесенная к единице площади его сечения, есть ударная вязкость ( $H \cdot m/m^2$ , или  $H/m$ ).

#### 4.2.3. МАШИНЫ ДЛЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

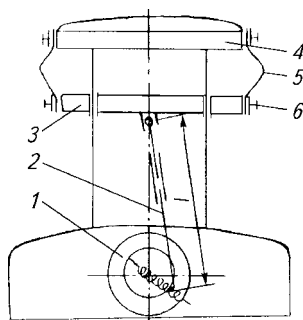
Рассмотрим, например, основные узлы и принцип работы прибора многократного изгиба. Прибор служит для испытаний упругих, поддающихся изгибу полимерных материалов на усталость.

Принципиальная схема прибора представлена на рис. 4.14, а его общий вид — на рис. 4.15.

В корпус прибора 1 (см. рис. 4.15) вмонтирован двигатель 21, который с помощью клиноременной передачи приводит в действие кривошипно-шатунный механизм. Шатун 2 кривошипно-шатунного приводного механизма направляет по двум направляющим колонкам 11 перемещение подвижной головки 5.

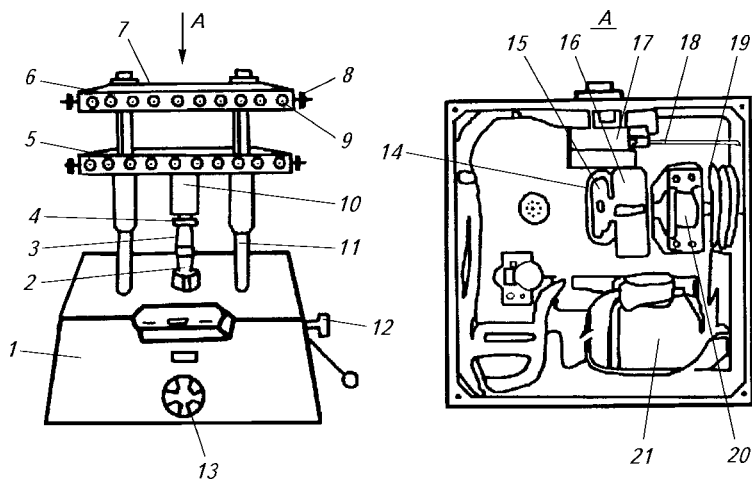
Образцы 5 (см. рис. 4.14) укладываются на боковые поверхности подвижной 3 и неподвижной 4 головок (см. рис. 4.14) и закрепляются на них с помощью зажимных плиток 6, которые фиксируются шпилькой 8 и гайкой 9 (см. рис. 4.15). Размер  $l$ , необходимый для фиксации образцов различной длины, устанавливается изменением длины хода и длины шатуна. Порядок проведения этой операции описан в лабораторной работе 35.

На трубчатый вал 19 (см. рис. 4.15) с одной стороны корпуса подшипника 20 надет шкив клиноременной передачи, а на другую сторону корпуса подшипника установлены эксцентрик 14 и головка кривошипа 16. Внутри трубчатого вала расположен установочный вал кривошипного приводного механизма, которым с помощью конических шестерен можно изменить длину хода в пределах от 0 до 100 мм. На боковой стороне корпуса находится отверстие, в которое выведены концы обоих валов (трубчатого и установочного). Поворотом трубчатого вала 19



**Рис. 4.14. Принципиальная схема прибора многократного изгиба:**

1 — переключатель; 2 — шатун; 3 — подвижная головка; 4 — неподвижная головка; 5 — образец; 6 — зажимная плитка



**Рис. 4.15. Общий вид прибора многократного изгиба:**

1 — корпус прибора; 2 — шатун; 3 — установочная гайка; 4 — контргайка; 5 — подвижная головка; 6 — зажимная плита; 7 — неподвижная головка; 8 — шпилька; 9 — гайка; 10 — верхний шатун; 11 — вертикальная колонна; 12 — кнопка счетчика; 13 — переключатель; 14 — эксцентрик; 15 — рычаг счетчика ходов; 16 — головка кривошипа; 17 — счетчик ходов; 18 — вал счетчика ходов; 19 — трубчатый вал; 20 — подшипник; 21 — двигатель

обеспечивают перевод подвижной головки в «мертвое» положение. В корпус прибора вмонтирован также счетчик 17 (см. рис. 4.15), который фиксирует число перегибов образцов. Кнопка 12 служит для перевода счетчика хода в нулевое положение. Двигатель, а вместе с ним и весь прибор пускаются в ход переключателем 13, находящимся на передней стенке прибора.

#### 4.2.4. ПРИБОРЫ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ НА ТВЕРДОСТЬ

Рассмотрим, например, основные узлы и принцип действия твердомера шарикового.

Схема твердомера представлена на рис. 4.16. В закрытый чугунный корпус 5 помещен механизм нагружения. Он состоит из рычага 11, вдавливаемого тела 1, грузоподъемного и разгрузочного устройства 9, масляного тормоза 12, переключателя нагрузки 16 с грузами 14.

Одноплечный рычаг 11 установлен на шарикоподшипниках. Стержень 4 нажимного элемента цилиндрический. Он направляется точно вертикально с помощью двух рядов шариков. Нижний конец стержня 4 скреплен с вдавливаемым шариком 1 с помощью

опорной втулки 2. Масса нажимного элемента составляет 1 кг; она обеспечивает предварительную нагрузку на испытуемый образец.

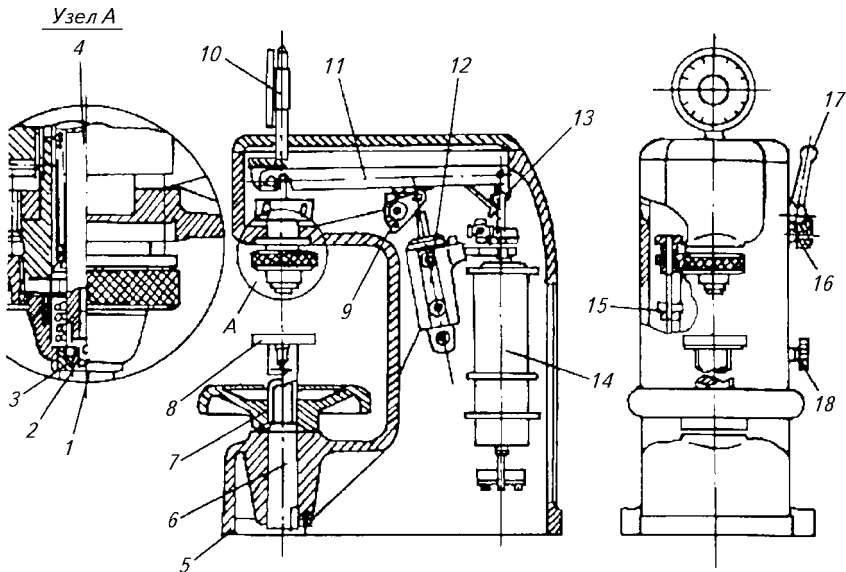
Грузоподъемное и разгрузочное устройство 9 приводится в действие с помощью рукоятки 17. Устройство предназначено для приложения и снятия нагрузки. Грузоподъемное и разгрузочное устройство посредством масляного тормоза 12 опускает и поднимает рычаг нагрузки.

Для приложения нагрузки рукоятку 17 перемещают по часовой стрелке.

Масляный тормоз предназначен для регулирования скорости нагружения. Регулирующим элементом является игольчатый клапан, ось которого выступает из корпуса и оканчивается переключателем.

Переключатель нагрузки 16 расположен на боковой стенке корпуса и позволяет устанавливать нагрузку в 250, 100 и 50 кгс (2500, 1000 и 500 Н). Установочная величина нагрузки отсчитывается по цветной метке на корпусе прибора.

Путем поворота переключателя 16 через пару червячных шестерен перемещаются грузонесущие кулачки. Во время измерения



**Рис. 4.16. Схема шарикового твердомера:**

1 — нажимной элемент (вдавливаемый шарик); 2 — опорная втулка; 3 — стяжное колесо; 4 — стержень нажимного элемента; 5 — чугунный корпус; 6 — шпindelь; 7 — маховик; 8 — предметный стол; 9 — грузоподъемное и разгрузочное устройство; 10 — индикатор; 11 — рычаг; 12 — масляный тормоз; 13 — серьга; 14 — нагрузочные диски; 15 — грузонесущая серьга; 16 — переключатель нагрузки; 17 — рукоятка; 18 — кнопка игольчатого клапана

они держат грузы, не участвующие в измерении, и передают нагрузку через серьгу 13 на рычаг 11.

Индикатор 10 имеет шкалу с делением 0,01 мм, он прикреплен к торцевой поверхности корпуса.

При измерении образец с предметным столом  $\delta$  за счет маховика 7 поднимается на шпинделе 6 и упирается в нагружающий шарик 1; при этом сначала поджимается стяжное колесо 3 и затем посредством пружины прижимается испытуемый образец к индентору.

Корпус прибора закрывается литой крышкой.

### **Работа 25. Определение разрушающего напряжения при растяжении**

**Цель работы:** ознакомиться с принципом работы разрывных машин и методикой определения разрушающего напряжения при растяжении и относительного удлинения при разрыве (ГОСТ 11262—80).

Работа на оборудовании (приборе) разрешается только после изучения устройства, принципа его действия и правил безопасной работы на нем (см. главу 7), прохождения инструктажа по технике безопасности и в присутствии преподавателя или учебного мастера, имеющего специальный допуск.

**Сущность метода.** Метод основан на растяжении испытуемого образца с определенной скоростью. Определяются следующие показатели:

- разрушающее напряжение при растяжении  $\sigma_p$ ;
- предел текучести при растяжении  $\sigma_T$ ;
- погрешность при условном пределе текучести  $s_{T\gamma}$ ;
- относительное удлинение при разрыве  $e_p$ .

Испытания проводят на разрывных машинах, обеспечивающих равномерную скорость растяжения образцов и позволяющих производить измерения нагрузки с погрешностью  $\pm 1\%$ .

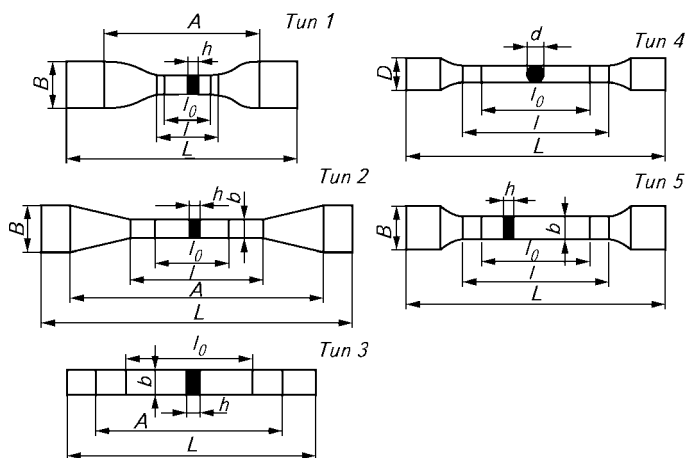
**Подготовка к испытанию.** Для испытания готовятся образцы типов 1—3 (рис. 4.17). Допускаются для научных испытаний образцы типов 4 и 5. Размеры образцов представлены в табл. 4.1.

Образцы типа 1 применяются для испытания пластмасс с большим относительным удлинением при разрыве (полиэтилен, поливинилхлорид и т. д.). Образцы типа 3 рекомендуются для стеклопластиков. Перед испытанием проводят осмотр образцов и отбраковывают те, которые содержат вздутия, сколы, трещины, раковины. С точностью до 0,1 мм измеряют толщину и ширину образца в рабочей части. Вычисляют площадь поперечного сечения. В расчетах используется минимальная площадь.

**Таблица 4.1. Размеры образцов, мм**

Размер	Значение размера для образцов типа				
	1	2	3	4	5
Общая длина $L$ , не менее	115	150	150	80	80
Ширина головки, $B$	$25 \pm 1$	$20 \pm 1$	—	—	$11 \pm 0,2$
Длина рабочей части $l$	$33 \pm 1$	$60 \pm 0,5$	—	$40 \pm 0,5$	$40 \pm 0,5$
Ширина рабочей части $b$	$6 \pm 0,4$	$10 \pm 0,5$	$15 \pm 0,5$	—	$5 \pm 0,2$
Радиусы:					
$r$	$14 \pm 0,5$	$\approx 60$	—	$6 \pm 0,2$	$6 \pm 0,2$
$R$	25	—	—	—	—
Расстояние между метками $A$ , определяющее положение кромок захвата на образце	$80 \pm 5$	$115 \pm 5$	$100 \pm 2$	—	$52 \pm 1$
Толщина рабочей части $h$	—	—	$50 \pm 1$	—	1—4
Расчетная длина $l_0$	$25 \pm 1$	$50 \pm 0,5$	—	$25 \pm 0,5$	$25 \pm 0,5$
Диаметр рабочей части $d$	—	—	—	$5 \pm 0,2$	—
Диаметр головки $D$	—	—	—	$11 \pm 0,2$	—

**Проведение испытаний.** Испытания проводят при скорости движения подвижного (нижнего) захвата, предусмотренной нормативной документацией на материал испытуемого образца. Например, для образца типа 1 скорость выбирается в пределах 100—



**Рис. 4.17. Образцы для испытаний**



500 мм/мин, для образцов типа 2 —  $25 \pm 2,5$  мм/мин. Скорость перемещения захватов должна соответствовать одной из скоростей, приведенных в табл. 4.2.

**Таблица 4.2. Скорость перемещения подвижного захвата машины (скорость нагружения)**

Образец	Скорость нагружения, мм/мин
Тип 1	$100 \pm 10$ ; $250 \pm 25$ ; $500 \pm 50$
Тип 2	$1 \pm 0,2$ ; $5 \pm 1$ ; $10 \pm 2$ ; $25 \pm 2,5$ ; $50 \pm 5$ ; $100 \pm 10$
Тип 3	$1 \pm 0,2$ ; $5 \pm 1$ ; $10 \pm 2$

При этом выбирают такую максимальную скорость из приведенных в табл. 4.2 скоростей, которая обеспечивает время от момента приложения нагрузки к образцу до его разрушения не менее 1 мин при испытании материалов, имеющих предел текучести, и не менее 30 с — для материалов, не имеющих предела текучести.

Образец закрепляют в захватах машины по меткам, определяющим положение кромок захватов, и измеряют расстояние между метками. При этом продольная ось образца должна совпадать с осью захватов и направлением движения подвижного зажима. Перед началом испытания необходимо стрелку принудительного движения подвинуть к главной стрелке силоизмерительного механизма (это делается рукой), затем освободить блокировочный механизм, фиксирующий верхний зажим. На образце, закрепленном в захватах, проводят настройку приборов для измерения удлинения, включают электродвигатель и приступают к испытаниям. В процессе растяжения измеряют нагрузку и изменение длины образца непрерывно и в момент разрушения. В расчет принимают результаты, полученные на образцах, разрушившихся в пределах их рабочей части.

**Обработка результатов.** Разрушающее напряжение при растяжении  $\sigma_p$  (МПа) вычисляется по формуле

$$\sigma_p = P_p / S, \quad (4.3)$$

где  $P_p$  — нагрузка, при которой образец разрушается, Н;  $S$  — наименьшая площадь первоначального поперечного сечения образца, которую рассчитывают как произведение толщины и ширины образца, мм<sup>2</sup>.

Относительное удлинение при разрыве  $\epsilon_p$  (%) находят по формуле

$$\epsilon_p = D l_p / l_0, \quad (4.4)$$

где  $D l_p$  — приращение расчетной длины образца при разрыве, мм;  $l_0$  — начальная расчетная длина, мм.

За результат испытания принимают среднеарифметическое результатов всех параллельных определений.

**Оформление результатов.** Результаты испытаний заносят в протоколы, которые должны содержать следующие данные:

- наименование и марка материала;
- число образцов для испытаний;
- тип образцов и метод их изготовления;
- наименование (марка) испытательной машины;
- диапазон скоростей перемещения зажимов при испытании;
- тип и марка прибора для измерения вышеназванных показателей;
- метод измерения;
- значение определяемого показателя для каждого образца;
- среднеарифметическое значение определяемого показателя;
- дата испытания, наименование и обозначение нормативного документа, по которому проводилось испытание;
- выводы по работе (сравнение результатов измерения показателей испытуемого образца с показателями по нормативным документам для данного материала).

### **Работа 26. Определение разрушающего напряжения при растяжении при повышенных и пониженных температурах**

**Цель работы:** ознакомиться с принципом работы разрывной машины, снабженной термокриокамерой, и определить разрушающее напряжение при растяжении и относительное удлинение при разрыве в интервале температур от  $-90$  до  $300$  °С.

Испытания проводятся согласно ГОСТ 11262—80.

Для проведения испытания используют разрывные машины, снабженные термокриокамерой, обеспечивающие равномерную скорость относительного движения нагрузочного устройства и позволяющие проводить измерения нагрузки с погрешностью до  $\pm 1$  %.

**Подготовка к испытанию.** Образцы должны иметь форму лопатки (см. рис. 4.17), ровную поверхность без дефектов. Толщина каждого образца не должна отличаться от среднего значения более чем на 10 %. Рабочий участок отмечают на узкой части образца с помощью меток. Для испытания используют не менее пяти образцов. Толщину и ширину образца измеряют в нескольких местах по длине рабочего участка и из всех измерений записывают минимальные значения.

**Задание на выполнение работы.** Лабораторная работа 26 включает в себя работы, посвященные следующим испытаниям:

**Работа А.** Испытание при однократном растяжении образца и температуре окружающей среды.

**Работа Б.** Испытание при однократном растяжении образца и нагреве в термокриокамере от 20 до 300 °С.

**Работа В.** Испытание при однократном растяжении образца и охлаждении в термокриокамере.

**Работа Г.** Испытание при однократном растяжении образца с поддержанием заданной нагрузки.

**Работа Д.** Испытание при многократном растяжении образца в пределах заданных значений нагрузки (циклическая нагрузка).

**Работа Е.** Испытание при многократном растяжении образца в пределах заданных значений перемещения активного захвата (циклическая деформация).

### **Работа 26А. Испытание при однократном растяжении образца и температуре окружающей среды**

**Порядок проведения работы** следующий (см. рис. 4.7).

1) поставьте рычаг включения двигателя 23 в положение «Одиночное испытание»;

2) нажмите на кнопку «Пуск привода» 34 (см. рис. 4.7);

3) поставьте переключатель 10 в положение, соответствующее пределу рабочей скорости испытания;

4) установите ручками 12 и 13 требуемую скорость перемещения активного захвата;

5) включите кнопку 9 «Схема измерения перемещения активного захвата»;

6) поставьте выключатель 29 в положение «Вкл» (включение схемы привода захватов);

7) установите ручками блока управления 7 предел предлагаемых нагрузок;

8) установите ручками блока управления 7 рабочий ноль нагрузки (при свободном верхнем зажиме и открытом арретире);

9) нажмите на кнопку 22 «Захваты открыты»;

10) поставьте образец в захваты;

11) нажмите на кнопку 18 «Захваты закрыты»;

12) нажмите на кнопку 14 «Вниз» или на кнопку «Испытание»;

13) после проведения испытания снимите показания, полученные при испытании;

14) нажмите на кнопку «Вверх» или кнопку 17 «Подъем»;

15) нажмите на кнопку 22 «Захваты открыты»;

16) уберите из захватов разрушенный образец;

17) поставьте на нуль показания счетчика перемещения активного захвата 9;

18) после окончания испытания отключите машину нажатием на кнопки «Стоп» и «Сеть».

### **Работа 26Б. Испытание при однократном растяжении образца и нагреве в термокриокамере от 20 до 300°С**

**Порядок проведения работы** следующий (см. рис. 4.7):

- 1) повторите действия по пп. 1—8 работы 26А;
- 2) включите электронный потенциометр 5 и задайте необходимую температуру в камере (с помощью рукояток переключателей, установленных на блоке регулирования температуры 37);
- 3) закройте камеру;
- 4) поставьте переключатель 34 режима работы термокамеры в положение «Разогрев»;
- 5) включите автоматический выключатель «Термокриокамера»;
- 6) нажмите на кнопку 32 «Пуск» вентилятора;
- 7) по достижении требуемой температуры выключите тумблер «Освещение»;
- 8) в дальнейшем производите работу согласно пп. 9—18 работы 26А.

### **Работа 26В. Испытание при однократном растяжении образца и охлаждении в термокриокамере**

**Порядок проведения работы** следующий (см. рис. 4.7):

- 1) повторите действия по пп. 1—5 работы 26А;
- 2) включите электронный потенциометр 5 и задайте необходимую температуру в камере задатчиком 37;
- 3) закройте камеру;
- 4) поставьте переключатели режима работы термокамеры 35 в положение «Охлаждение»;
- 5) переключателями 26 по амперметру 1 установите необходимый поток испарителя;
- 6) нажмите на кнопку 33 «Пуск» вентилятора. В дальнейшем проводите работу согласно пп. 9—16 и п. 2.7 работы 26А.

### **Работа 26Г. Испытание при однократном растяжении образца с поддержанием заданной нагрузки**

**Порядок проведения работы** следующий (см. рис. 4.7):

- 1) поставьте переключатель режимов работы 23 в положение «Постоянная нагрузка»;

2) установите по шкале нагрузок диаграммного аппарата требуемую скорость;

3) в дальнейшем проводите работу согласно пп. 9—18 работы 26А.

**Работа 26Д. Испытание при многократном растяжении образца в пределах заданных значений нагрузки (циклическая нагрузка)**

**Порядок проведения работы** следующий (см. рис. 4.7):

1) поставьте переключатель режимов работы 23 в положение «Циклическая нагрузка»;

2) с помощью конечных выключателей установите по шкале нагрузок диаграммного аппарата пределы циклической нагрузки;

3) в дальнейшем проводите работу согласно пп. 9—18 работы 26А.

**Работа 26Е. Испытание при многократном растяжении образца в пределах заданных значений перемещения активного захвата (циклическая деформация)**

**Порядок проведения работы** следующий (см. рис. 4.7):

1) поставьте переключатель режимов работы 23 в положение «Циклическая деформация»;

2) установите конечные выключатели в положения, соответствующие заданным предельным значениям циклической деформации;

3) в дальнейшем проводите работу согласно пп. 9—18 работы 26А.

**Примечание:** при температурных испытаниях в работах 26Г, 26Д, 26Е порядок включения термокамеры тот же, что и в работе 26А для случая однократного растяжения.

**Обработка результатов испытания.** Вычисляют: разрушающее напряжение при растяжении (МПа)

$$s_p = F_p^{\max}/A_0; \quad (4.5)$$

предел текучести при растяжении (МПа)

$$s_{pt} = F_{pt}/A_0; \quad (4.6)$$

условный предел текучести при растяжении (МПа)

$$s_{pty} = F_{pty}/A_0, \quad (4.7)$$

где  $F_p^{\max}$  — максимальная нагрузка при испытании на растяжение, Н;  $F_{pt}$  — нагрузка при достижении предела текучести, Н;  $F_{pty}$  — нагрузка при достижении условного предела текучести, Н;  $A_0$  — начальное поперечное сечение образца, мм<sup>2</sup>.

За результат измерения принимают среднее арифметическое пяти определений, вычисленное до третьей значащей цифры.

Значение относительного удлинения (%) вычисляют по следующим формулам:

относительное удлинение при максимальной нагрузке

$$\varepsilon_p^{\max} = \frac{\Delta l_p^{\max}}{l_0} \cdot 100; \quad (4.8)$$

относительное удлинение при пределе текучести

$$\varepsilon_{pt} = \frac{\Delta l_{pt}}{l_0} \cdot 100, \quad (4.9)$$

где  $\Delta l_p^{\max}$  — изменение расчетной длины образца в момент достижения максимальной нагрузки, мм;  $\Delta l_{pt}$  — изменение расчетной длины образца в момент достижения предела текучести, мм;  $l_0$  — начальная расчетная длина образца, мм.

Условный предел текучести  $\sigma_{pту}$  определяют в тех случаях, когда испытуемый материал не имеет явного предела текучести. Он определяется графически в точке пересечения кривой нагрузка — деформация, отсекающей от оси абсцисс участок, соответствующий относительному удлинению, величина которого указана в нормативно-технологической документации на материал.

**Оформление результатов.** Результаты испытаний заносят в протокол, который должен содержать следующие данные:

- наименование и марка материала;
- число образцов для испытания;
- типы образцов и методы их изготовления;
- наименование (марка) испытательной машины;
- диапазон скоростей перемещения зажимов при испытании;
- тип и марка прибора измерения вышеназванных показателей;
- метод и условия измерений;
- значение определяемого показателя для каждого образца;
- дата испытания, наименование и обозначение нормативного документа, по которому проводилось испытание;

выводы по работе (сравнение результатов измерения испытуемого образца с показателями по нормативным документам для данного материала).

### **Работа 27. Определение ударной вязкости полимеров**

**Цель работы:** ознакомиться с принципом работы маятниковых копров и методикой определения ударной вязкости (ГОСТ 11235—75).

**Сущность метода.** Метод основан на определении ударной вязкости образца, т. е. энергии, затраченной на разрушение образца, отнесенной к площади его поперечного сечения.

Для испытания используются маятниковые копры со сменными молотами.

**Подготовка к испытанию.** Образцы для испытания применяют в виде брусков прямоугольного сечения с надрезом и без надреза. Размеры образцов представлены в табл. 4.3.

**Таблица 4.3. Размеры образцов для испытаний на ударную вязкость**

Тип образца	Длина $L$ , мм	Ширина $h$ , мм	Толщина $s$ , мм	Расстояние между опорами, мм
1	$120 \pm 2$	$15 \pm 0,5$	$10 \pm 0,5$	70
2	$80 \pm 2$	$10 \pm 0,5$	$4 \pm 0,2$	60
3	$50 \pm 1$	$6 \pm 0,2$	$4 \pm 0,2$	40

Количество образцов от одной партии должно быть не менее пяти. Образцы подвергаются кондиционированию при заданной температуре испытания.

Работа на оборудовании (приборе) разрешается только после изучения устройства, принципа его действия и правил безопасной работы на нем (см. главу 7), прохождения инструктажа по технике безопасности и в присутствии преподавателя или учебного мастера, имеющего специальный допуск.

**Проведение испытания.** Проводят замер толщины и ширины образцов в средней части с точностью до 0,1 мм. Устанавливают расстояние между опорами в соответствии с размерами образцов (см. табл. 4.3.). Образцы устанавливают так, чтобы удар приходился по широкой стороне. Маятник поднимают до верхнего положения на угол  $90^\circ$ , в котором он удерживается защелками. Устанавливают стрелку шкалы на начальное положение. Освобождают маятник, давая ему свободно падать. Скорость движения маятника в момент удара должна быть  $3 \pm 0,1$ ;  $3,5 \pm 0,1$ ;  $4 \pm 0,1$  м/с. Выбор одной из скоростей предусматривается в ТУ на материал. Центр тяжести маятника должен совпадать с центром удара и лежать на середине ширины образца. Нож маятника должен вписываться в угол  $45 \pm 1^\circ$  и оканчиваться закруглением радиусом 3 мм. Схема установки образца на опоры представлена на рис. 4.18.

После разрушения образца маятник останавливается рукой. По шкале производят расчет энергии, затраченной на разрушение образца. Удар по образцу проводят только один раз. Образец, не разрушившийся при испытании, должен быть заменен другим.

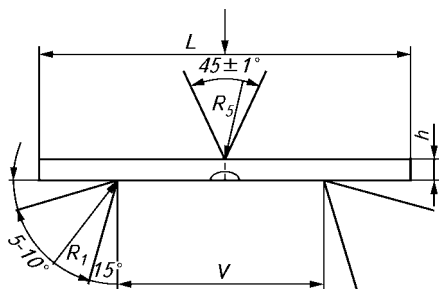


Рис. 4.18. Схема установки образца на опоры при определении ударной вязкости

**Обработка результатов испытания.** Ударная вязкость образца (кДж/м<sup>2</sup>) определяется по формуле

$$a = 10^3 A / (bh), \quad (4.10)$$

где  $A$  — энергия удара, затраченная на разрушение образца, кДж;  $b$  — ширина образца, мм;  $h$  — толщина образца, мм.

За результаты испытания принимают среднее арифметическое всех испытаний.

Коэффициент ослабления образца надрезом (%) определяется по формуле

$$K = \frac{a_n}{a} \cdot 100, \quad (4.11)$$

где  $a$  и  $a_n$  — ударная вязкость образца без надреза и с надрезом соответственно.

**Оформление результатов.** Результаты вычислений заносят в табл. 4.4.

Таблица 4.4. Результаты определения ударной вязкости

Материал	Размеры образца, м		Работа разрушения, кДж		Ударная вязкость, кДж/м <sup>2</sup>		Коэффициент ослабления, %
	высота	ширина	с надрезом	без надреза	с надрезом	без надреза	

### Работа 28. Определение твердости полимерных материалов

**Цель работы:** ознакомиться с принципом работы шариковых твердомеров и методикой определения твердости полимерных материалов по ГОСТ 4670—77.



**Сущность метода.** Метод основан на вдавливании стального шарика под действием заданной нагрузки в поверхность испытуемого образца. Испытание проводят согласно ГОСТ 4670—77. Стандарт соответствует международному стандарту ИСО 2039—73(А) в части, касающейся метода Б. Описание твердометра представлено выше.

**Подготовка к испытанию.** Образцы для испытаний изготавливают из готовых изделий и листов способом механической обработки. Ограничивающие их поверхности должны быть плоскопараллельными с размерами не менее 10 × 10 мм. Расстояния между отпечатками шарика, а также между краем отпечатка шарика и краем образца должны быть не менее 5 мм. Толщина образцов, полученных формованием, должна составлять не менее 4 мм. Образцы для испытаний должны быть без вздутий, раковин, трещин и других дефектов. Перед испытанием образцы подвергают кондиционированию.

**Проведение испытания.** Испытание проводят при температуре помещения  $20 \pm 2$  °С (образцы должны находиться в помещении при данной температуре не менее 16 ч). Нагрузка, прилагаемая к шарiku, может быть 50, 100, 250 кгс (500, 1000, 2500 Н). Выбор нагрузки производится так, чтобы она вызывала в материале деформацию не более 0,26 мм. Прикладывается нагрузка плавно, без толчков. При проведении испытания образец устанавливается на предметный стол 8 (см. рис. 4.16) и с помощью шпинделя 6 и маховика 7 поднимается до соприкосновения с нажимным элементом 1. При этом большая стрелка индикатора должна совмещаться с нулем, а малая — с меткой, нанесенной на шкалу; рукоятка 17 должна находиться в крайнем левом положении. Нагрузка на образец осуществляется перемещением рукоятки 17 по часовой стрелке. Продолжительность приложения нагрузки  $60 \pm 5$  с. Измерение глубины отпечатка  $h$  осуществляют не снимая груза по истечении указанного времени. Нагрузка снимается поворотом рукоятки 17 против часовой стрелки. Определение твердости производят в трех точках на каждом из трех образцов.

**Обработка результатов испытания.** Твердость при вдавливании шарика — это частное от деления приложенной к стальному шарiku нагрузки на площадь сферической поверхности отпечатка за установленный период приложения нагрузки.

Твердость  $H$  (Н/мм<sup>2</sup>) вычисляется по формуле

$$H = \frac{0,21P}{\pi d \cdot 0,25(h - 0,04)}, \quad (4.12)$$

где  $P$  — нагрузка на шарик, Н;  $d$  — диаметр шарика, мм;  $h$  — глубина внедрения шарика, мм; 0,21; 0,04 — коэффициенты приведения нагрузки к глубине внедрения 0,25 мм.

За результат испытаний принимают среднее арифметическое всех параллельных измерений.

Результаты испытаний записывают в протокол, который должен содержать следующие данные: наименование и марку материала; способ изготовления образцов; значение основной испытательной нагрузки; количество испытаний; значение твердости материала с указанием расчетной формулы; дату испытания и обозначение стандарта.

### **Работа 29. Определение разрушающего напряжения при изгибе**

**Цель работы:** ознакомиться с принципом работы разрывных машин и методом испытания полимеров при статическом изгибе по ГОСТ 4648—71.

**Сущность метода.** Образец для испытания, свободно лежащий на двух опорах, кратковременно нагружается в середине между опорами. При этом определяются:

изгибающее напряжение и значения прогиба в момент разрушения для пластмасс, разрушающихся при заданной величине прогиба;

изгибающее напряжение при заданном значении прогиба для пластмасс, не разрушающихся при заданной величине прогиба.

Испытания проводят на разрывных машинах для статического изгиба (см. рис. 4.10), обеспечивающих равномерную скорость движения нагружающего наконечника и позволяющих производить измерения нагрузки с погрешностью  $\pm 1\%$ , а прогиба — с погрешностью  $\pm 2\%$ .

**Образцы для испытания.** Стандартный образец для испытания должен иметь размеры не менее: длина  $L = 80$  мм; ширина  $b = 10 \pm 0,5$  мм; толщина  $h = 4 \pm 0,2$  мм.

Можно использовать образцы, у которых соотношение длины и толщины составляет  $L \geq 20h$ , а ширина образца — от 10 до 25 мм. Размеры образцов для жестких неармированных пластмасс представлены в табл. 4.5.

**Таблица 4.5. Размеры образцов для испытаний на статический изгиб**

Толщина $h \pm 0,2$ , мм	Ширина $b \pm 0,5$ , мм
1—3	25
3—5	10
5—10	15
10—20	20
20—35	35
35—50	50

Образцы должны иметь гладкую, ровную поверхность без вздутий, сколов, трещин и других дефектов. Перед испытанием в средней трети длины замеряют ширину образца с погрешностью 0,1 мм и толщину с погрешностью 0,02 мм. В зависимости от толщины образца устанавливается расстояние между опорами.

Расстояние между опорами  $l$  равно:

$$l = 10h, \quad (4.13)$$

где  $h$  — толщина образца, мм.

Скорость перемещения нагружающего наконечника и опор устанавливается в нормативной документации на материал. При отсутствии этих указаний она определяется по формуле

$$V = V_r l^2 / (6h), \quad (4.14)$$

где  $V_r$  — скорость деформации, равная 0,01 мм/мин;  $l$  — расстояние между опорами, мм;  $h$  — толщина образца, мм.

При  $l/h = 16 \pm 1$ ,  $V_r = h/2$ .

**Обработка результатов испытания.** Разрушающее напряжение при изгибе (МПа) определяется по формуле

$$\sigma_{и} = \frac{M}{W} = \frac{3Pl}{2bn^2}, \quad (4.15)$$

где  $M$  — изгибающий момент, Н · мм;  $W$  — момент сопротивления сечения образца, мм<sup>3</sup>;  $P$  — нагрузка, Н;  $l$  — расстояние между опорами, мм;  $b$  — ширина образца, мм;  $n$  — толщина образца, мм.

Модуль упругости при изгибе  $E_{и}$  (МПа) рассчитывается по формуле

$$E_{и} = \frac{Pl^3}{4bh^3 f}, \quad (4.16)$$

где  $f$  — величина прогиба, мм.

**Оформление результатов.** Результаты испытаний заносятся в табл. 4.6.

**Таблица 4.6. Форма представления результатов эксперимента**

Номер образца	Размеры образца		Максимальная нагрузка $P_{\max}$ , Н	Величина прогиба $f$ , мм	Разрушающее напряжение при изгибе $\sigma_{и}$ , МПа	Модуль упругости при изгибе $E_{и}$ , МПа
	ширина $b$ , мм	толщина $h$ , мм				

### Работа 30. Определение разрушающего напряжения при сжатии

**Цель работы:** ознакомиться с принципом работы разрывной машины и методикой определения разрушающего напряжения при сжатии по ГОСТ 4651—82.

**Сущность метода.** Метод основан на нагружении испытуемого образца сжимающей возрастающей нагрузкой при установленной скорости деформации и определении отношения наибольшей нагрузки, при которой происходит разрушение образца или появление трещин, к площади поперечного сечения образца.

**Образцы для испытаний.** Образцы для испытания на сжатие должны иметь форму прямоугольной призмы, цилиндра или прямой трубки. Высоту  $h$  (мм) определяют следующим способом:

для прямоугольной призмы с квадратным или прямоугольным основанием

$$h = \frac{\lambda}{3,46} a; \quad (4.17)$$

для цилиндра

$$h = \frac{\lambda}{4} d; \quad (4.18)$$

для прямой трубки

$$h = \frac{\lambda}{4} \left( \frac{D}{2} + \frac{d_1}{2} \right); \quad (4.19)$$

где  $\lambda$  — коэффициент гибкости образца;  $\lambda = 10$ , если в нормативной документации на материал нет других указаний;  $a$  — сторона основания призмы, мм;  $d$  — диаметр цилиндра, мм;  $d_1$  — внутренний диаметр трубки, мм;  $D$  — наружный диаметр трубки, мм.

Высоту образца устанавливают от 10 до 40 мм. Размеры образца измеряют с погрешностью не более 0,01 мм в трех местах. По минимальному значению измерений вычисляют поперечное сечение образца. Если скорость испытания не указывается в нормативной документации, то ее рассчитывают (мм/мин) следующим образом:

$$V = 0,03h/t, \quad (4.20)$$

где  $h$  — высота образца, мм;  $t$  — постоянная, равная 1 мин.

**Проведение испытания.** Устанавливают на разрывную машину приставку (см. рис. 4.5) и между опорными дисками  $З$  помещают образец так, чтобы вертикальная ось образца совпала с направлением действия нагрузки. Регулируют машину кнопочной стан-

цией 13 (см. рис. 4.3) до соприкосновения образца с площадками. Устанавливают выбранную скорость сближения опорных площадок регулятором скорости 2 (см. рис. 4.3) только при включенной машине. Распределительную ручку поставить в положение «Вниз». После разрушения образца распределительную ручку поставить в положение «Вверх». По положению стрелки принудительного движения снять показания на силоизмерителе.

**Обработка результатов испытания.** Разрушающее напряжение при сжатии  $\sigma_{сж}$  (МПа) определяется по формуле

$$\sigma_{сж} = P_{сж}/F, \quad (4.21)$$

где  $P_{сж}$  — разрушающее напряжение при сжатии, Н;  $F$  — площадь поперечного сечения образца, м<sup>2</sup>.

**Оформление результатов работы.** Результаты вычислений заносятся в табл. 4.7.

Таблица 4.7. Форма представления результатов эксперимента

Номер образца	Материал образца	Площадь поперечного сечения $F$ , м <sup>2</sup>	Нагрузка $P_{сж}$ , Н	Разрушающее напряжение при сжатии $\sigma_{сж}$ , МПа

### **Работа 31. Определение устойчивости полимеров к многократному изгибу**

**Цель работы:** ознакомиться с устройством и принципом работы прибора для испытания полимеров на многократный изгиб, а также с методикой определения устойчивости полимера к многократному изгибу.

**Сущность метода.** Метод основан на определении сравнительных усталостных характеристик испытуемого и контрольного образцов. В результате многократного изгиба по истечении определенного времени материал достигает усталостного порога, его прочность снижается и образец начинает растрескиваться.

Скорость увеличения трещины выражается числом изгибов, необходимых для увеличения трещины на 1 см, приводящего к поломке образца, и характеризует сопротивление испытуемого образца распространению трещины.

На основании испытания можно судить о том, в какой мере испытуемый материал склонен к растрескиванию или поломке в случае быстрых изгибающих нагрузок.

**Образцы для испытания.** Образцы для испытания должны представлять собой плоскопараллельные пластины прямоугольной

формы, вырезаются из готовых изделий или полуфабрикатов фольги, пленок, лент и т. д. Размеры образца выбираются исходя из возможности проведения испытаний и требований ГОСТов на материал. Максимальные размеры образца  $230 \times 30 \times 6$  мм. Максимальную длину образца практически применить нельзя, так как в этом случае зажимные головки в верхнем «мертвом» положении сталкивались бы, что, однако, невозможно из-за толщины материала. Вырезанные по размерам образцы прокалывают по центру для нарушения монолитности структуры материала. Прибор дает возможность испытывать одновременно двенадцать образцов.

**Подготовка и проведение испытания.** Испытания проводят при температуре помещения. Из-за конструктивного решения прибора длина хода и свободная длина образца находятся во взаимосвязи. Приводимый ниже расчет необходимо производить для каждой подобранной длины хода:

$X$  — ход подвижной головки;

$D_{сж}$  — длина при сжатии;

$D_{обр}$  — длина образца;

$D$  — свободная длина образца, считая от нижней «мертвой» точки;

$$D_{сж} = D - X;$$

$$D_{обр} = D + 80;$$

$$D_{max} = X/2 + 100;$$

$$D_{min} = X;$$

$$D_{обр max} = X/2 + 180 \text{ — максимальная длина образца;}$$

$$D_{обр min} = X + 80 \text{ — минимальная длина образца.}$$

На горизонтальной оси (рис. 4.19) нанесены возможные величины хода  $X$ . Вертикальная ось показывает величины свободной длины  $D$ ; прямая  $AGB$  характеризует положение неподвижной зажимной головки; прямая  $CP$  — положение подвижной зажимной головки в нижней «мертвой» точке кривошипа в зависимости от установленной длины хода  $X$ . Из рис. 4.19 видно, что, например, при установке нулевого хода («мертвая» точка) расстояние между зажимными губками  $D = 100$  мм.

В случае длины хода  $100$  мм  $D = 150$  мм. В верхнем «мертвом» положении кривошипа подвижная головка поднимается по прямой  $CE$ . На прямой  $CP$  видно, что в случае установки хода в  $60$  мм расстояние губок в нижнем положении  $130$  мм, а в верхнем «мертвом» положении —  $10$  мм. При увеличении шатуна прямые  $CP$  и  $CE$  соответственно отодвигаются вверх.

Подобранная длина хода устанавливается следующим образом: вращением трубчатого вала (см. рис. 4.15, поз. 19) с помощью ключа обеспечивается перевод подвижной головки в нижнюю «мертвую» точку;

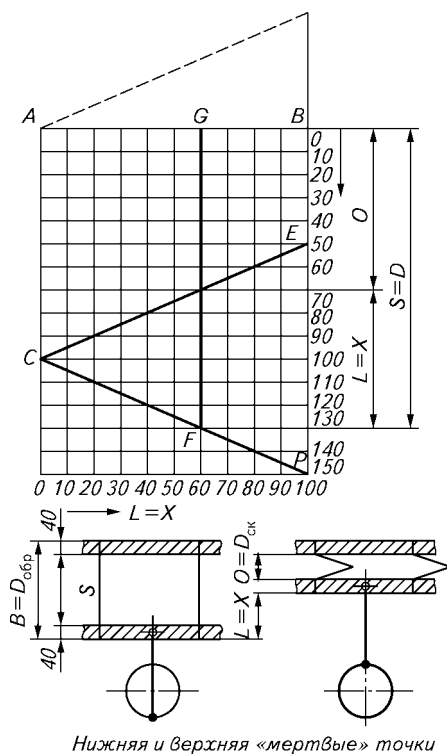


Рис. 4.19. Номограмма для расчета длины образца

мерная линейка накладывается на нижнюю плоскость неподвижной головки 7 и верхнюю плоскость подвижной головки 5;

путем поворота трубчатого вала и с помощью ключа изменяется ход;

измерение контролируется по мерной линейке, и регулировка продолжается до получения желаемой длины хода.

Подвижная головка 5 (см. рис. 4.15) устанавливается в нижнее «мертвое» положение. Освобождаются контргайки 4, и вращением установочной гайки 3 определяется свободная длина  $D$ . Свободная длина проверяется по мерной линейке. Подтягиваются контргайки 4.

После снятия мерной линейки образцы можно зажать. Для этого надо открутить гайки 9 и освободить зажимные плитки 6. Образцы помещаются под губки и фиксируются гайкой (во время установки образцов подвижная головка должна находиться в нижнем «мертвом» положении).

Перед включением прибора следует проверить счетчик и в случае необходимости установить его в нулевое положение кнопкой счетчика 12 по часовой стрелке. Поворотом переключателя 13 прибор пускается в ход. Прибор следует периодически останавливать и проверять, не достигли ли повреждения в образцах требуемых размеров (см. рис. 4.15).

Испытание дает результаты, свидетельствующие о сравнительной устойчивости к многократному изгибу по отношению к контрольному образцу. Об устойчивости образцов судят по отношению числа изгибов, приводящих к образованию трещины длиной в 1 см, для контрольного и испытуемого образцов.

**Оформление результатов работы.** Полученные результаты заносят в протокол испытаний по форме, представленной в табл. 4.8.

**Таблица 4.8. Устойчивость образцов к многократному изгибу**

Номер образца	Материал	Число перегибов	Размер дефекта, мм
---------------	----------	-----------------	--------------------



## Глава 5

---

### ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРОВ

Большинство полимеров является диэлектриками, что наряду с низкой плотностью, высокой химической стойкостью, эластичностью и простотой переработки определило их широкое применение в качестве электроизоляционных материалов в электронике и электротехнике при производстве кабелей, проводов, трансформаторов, печатных плат, изолирующих конструкций. Они работают при самых разнообразных электрических, температурных, механических и других воздействиях. Для наиболее рационального применения полимеров в качестве электроизоляции необходимо знать их электрические свойства, понимать закономерности изменения этих свойств в зависимости от строения и состава полимерных материалов, а также от условий эксплуатации изделий из них.

Качество полимера как диэлектрика характеризуется рядом параметров. Наиболее важные из них — это диэлектрическая проницаемость ( $\epsilon$ ), тангенс угла диэлектрических потерь ( $\operatorname{tg} \delta$ ), электрическая прочность ( $E_{\text{пр}}$ ), удельное объемное ( $\gamma_V$ ) и удельное поверхностное ( $\gamma_S$ ) электрическое сопротивление.

*Диэлектрическая проницаемость* — величина, показывающая, во сколько раз уменьшается сила электростатического (кулоновского) взаимодействия между электрическими зарядами при переносе их из вакуума в диэлектрик при неизменном расстоянии между зарядами.

Диэлектрическая проницаемость характеризует степень поляризуемости диэлектрика под действием внешнего электрического поля. Рассмотрим это более подробно. Под действием внешнего электрического поля в диэлектрике происходит ориентация уже имеющихся в нем *постоянных диполей* и возникают новые — *наведенные диполи*. В результате диэлектрик создает свое собственное электрическое поле, направленное противоположно внешнему полю. Величина возникающего собственного электрического поля диэлектрика (полимера) характеризуется *вектором поляризации*  $P$ , Кл/м<sup>2</sup>. Он пропорционален напряженности внешнего электрического поля ( $DU$ ) и диэлектрической прони-

цаемости диэлектрика  $\epsilon$ :

$$P = (\epsilon - 1)\epsilon_0 \cdot D U, \quad (5.1)$$

где  $\epsilon_0$  — электрическая постоянная ( $\epsilon_0 = 1 \cdot 10^{-9}/36\pi\text{Ф/м}$ ).

Вектор поляризации и диэлектрическая проницаемость определяются химическим строением полимера.

Величина  $P$  пропорциональна сумме *дипольных моментов* всех постоянных и наведенных диполей в единице объема полимера. В качестве постоянных диполей выступают молекулы или части молекул, состоящие из двух и более атомов со смещенной электронной плотностью, например, два атома, соединенных поляризованной ковалентной связью ( $^{\circ}\text{C}-\text{O}-$ ,  $^{\circ}\text{C}-\text{Cl}$ ,  $-\text{O}-\text{H}$ ,  $=\text{N}-\text{H}$  и др.). Чем больше смещение электронной плотности в молекуле, тем больше дипольный момент молекулы. Степень смещения электронной плотности определяется величиной электроотрицательности элементов: чем больше различие в электроотрицательностях атомов, образующих молекулу, и расстояние между ядрами атомов, тем больше ее дипольный момент.

Наведенные диполи возникают в результате смещения электронной плотности в атоме или неполярной молекуле под действием внешнего электрического поля. Дипольный момент наведенных диполей значительно меньше дипольных моментов постоянных диполей. Поэтому диэлектрическая проницаемость вещества определяется в основном числом полярных групп в молекуле и степенью смещения в них электронной плотности.

Таким образом, чем больше в полимере полярных несимметричных связей и сильнее в них смещение электронной плотности, тем выше его  $\epsilon$ .

Если между обкладками конденсатора, образованного двумя параллельными металлическими пластинками, поместить диэлектрик, то вследствие возникновения собственного электрического поля в диэлектрике величина заряда этого конденсатора возрастет. Емкость конденсатора  $C$  возрастет во столько раз, во сколько раз диэлектрическая проницаемость вновь помещенного диэлектрика больше проницаемости бывшего в конденсаторе диэлектрика. Если принять величину  $\epsilon$  вакуума равной 1, то  $\epsilon$  диэлектрика можно определить как отношение емкости  $C$  электрического конденсатора, заполненного изучаемым диэлектриком, к емкости  $C_0$  точно такого же конденсатора в вакууме:

$$\epsilon = C/C_0. \quad (5.2)$$

Поэтому величина  $\epsilon$  диэлектрика имеет важнейшее значение при использовании полимера в качестве электроизоляционной прокладки в электрическом конденсаторе.

Несколько отличная картина будет наблюдаться при помещении диэлектрика в переменное электрическое поле, направление которого постоянно меняется. В этом случае будет происходить переориентация диполей диэлектрика вслед за внешним полем. Вследствие ограниченной гибкости и подвижности молекул и наличия межмолекулярного взаимодействия переориентация полярных группировок в диэлектрике заторможена. Из-за этого диполи диэлектрика не успевают переориентироваться вслед за внешним электрическим полем. В результате собственное электрическое поле диэлектрика отстает от внешнего переменного электрического поля на некоторый угол  $\delta$ , называемый *углом диэлектрических потерь*. Он, как правило, выражается через *тангенс угла диэлектрических потерь*  $\operatorname{tg} \delta$ . Этот угол характеризует длительность процесса релаксации различных полярных группировок в молекуле диэлектрика при смене направления внешнего поля, а следовательно, связан с молекулярной подвижностью этих группировок.

Если диполи диэлектрика обладают высокой подвижностью, то их переориентация происходит очень быстро, и поэтому величина  $\delta$  мала. Если диполи диэлектрика слишком малоподвижны, то они не будут принимать участия в ориентации и переориентации, поэтому величина  $\delta$  такого диэлектрика также мала.

Но если время переориентации определенной группы диполей близко к времени смены направления внешнего электрического поля, то наведенное поле диэлектрика будет отставать от внешне-го электрического поля на весьма значительный угол.

Подвижность молекул зависит от температуры. Поэтому на кривой зависимости  $\operatorname{tg} \delta$  от температуры наблюдаются максимумы, соответствующие переходу определенных молекулярных групп из малоподвижного состояния в подвижное (например, переходу полимера из стеклообразного в высокоэластическое состояние). Для всех типов полимеров установлено два типа диэлектрических потерь: дипольно-сегментальные и дипольно-групповые. Первый тип потерь связан с переориентацией полярных звеньев макромолекул в условиях, когда возможно сегментальное движение (переход в высокоэластическое состояние). Второй тип потерь обусловлен переориентацией самих полярных групп.

При рассматриваемой переориентации затрачивается энергия внешнего поля на преодоление сил межмолекулярного взаимодействия диполей диэлектрика с окружающими молекулами. Эта энергия рассеивается в полимере в виде теплоты. Величина рассеиваемой энергии пропорциональна тангенсу угла диэлектрических потерь и диэлектрической проницаемости полимера. Произведение  $\epsilon \cdot \operatorname{tg} \delta = \epsilon''$  называется *коэффициентом диэлектрических*

*потерь*. Теплота  $Q$ , выделяемая в единице объема диэлектрика, определяется по уравнению

$$Q = 2p \cdot D U^2 \cdot \epsilon_0 \cdot \operatorname{tg} d \cdot f, \quad (5.3)$$

где  $D U$  — напряженность электрического поля;  $f$  — частота электрического поля.

Эффект выделения теплоты в полимере в высокочастотном электрическом поле используется для разогрева полярных полимеров при их переработке в изделия. Понятно, что при эксплуатации полимера в качестве электроизоляции в высокочастотных полях (например, в электрогенераторах, радиопередатчиках и т. д.) он не должен нагреваться и, следовательно, должен иметь низкую величину произведения  $\epsilon$  на  $\operatorname{tg} d$ . Низкое значение  $\epsilon$  имеют неполярные полимеры.

*Электрическая прочность* — это способность полимеров сохранять целостность под действием внешнего электрического поля. Минимальное значение разности электрических потенциалов, приложенных к диэлектрику, при которой он разрушается, называется электрической прочностью  $E_{\text{пр}}$ . Электрическая прочность выражается в кВ/мм. При превышении  $E_{\text{пр}}$  наступает разрушение полимера, которое называется *пробоем*.

Различают три формы электрического пробоя: истинно *электрический* (истинный), *тепловой* и *химический*.

Электрический пробой наблюдается, как правило, при кратковременном воздействии поля, когда другие факторы не успевают оказать своего разрушающего действия на полимер.

Если время приложения потенциала достаточно длительное, то, как правило, развивается тепловая форма пробоя, обусловленная дополнительно еще и разогревом диэлектрика в результате диэлектрических потерь и выделения джоулева тепла. Тогда пробой наступает при меньшем значении  $E_{\text{пр}}$  по сравнению с чисто электрическим пробоем. Полярные полимеры характеризуются более высокими диэлектрическими потерями и меньшим электросопротивлением, поэтому в них быстрее развивается тепловой пробой, чем в неполярных полимерах. В связи с этим неполярные полимеры являются более хорошими изоляторами по сравнению с полярными.

Еще более низкое значение  $E_{\text{пр}}$  наблюдается при химическом пробое, который обусловлен сравнительно медленным старением полимера под действием в течение длительного времени электрических (коронный разряд, озonoобразование) и других (ультрафиолет, окисление, влага, микроорганизмы и пр.) факторов. Чем больше время воздействия электрического поля на полимер, тем при меньшей напряженности электрического поля наступает его пробой. При многолетней эксплуатации полимера в электрических полях  $E_{\text{пр}}$  полимера падает в десятки раз. Это необходимо

учитывать при подборе типа полимера для изоляции и выборе ее толщины.

Электрическая прочность большинства наиболее распространенных полимеров лежит в пределах от 3 до 20 кВ/мм. Электрическая прочность полимеров обратно пропорциональна дефектности полимера и подвижности его молекул и прямо пропорциональна механической прочности. С повышением температуры  $E_{пр}$  полимеров уменьшается.

*Удельное электрическое сопротивление.* Главным признаком любого диэлектрика является высокое значение удельного электрического сопротивления.

Различают *удельное объемное электрическое сопротивление*  $r_V$  и *удельное поверхностное электрическое сопротивление*  $r_S$ .

Удельное объемное электрическое сопротивление — это сопротивление между электродами, приложенными к противоположным граням единичного куба данного вещества, измеряется в Ом · м (Ом · см). Удельное поверхностное электрическое сопротивление — это сопротивление между электродами единичной длины, приложенными к поверхности измеряемого объекта на единичном расстоянии друг от друга, измеряется в Ом.

К диэлектрикам принято относить материалы, имеющие значения  $r_V$  и  $r_S$  не менее  $1 \cdot 10^8$  Ом · м.

Электросопротивление вещества обратно пропорционально концентрации и подвижности в нем свободных носителей заряда. Основным носителем свободных зарядов в большинстве полимеров являются ионы, образующиеся в результате диссоциации ионогенных групп полимера и различных примесей в нем. Такими примесями могут быть соли, влага, остатки катализаторов, мономеров, эмульгаторов и др. Подвижность ионов возрастает с повышением температуры. Поэтому значение  $r_V$  полимеров экспоненциально падает с повышением температуры.

Электрическое сопротивление полимеров зависит от их химического строения. Общая тенденция такова, что с увеличением количества полярных химических групп и их дипольного момента электросопротивление снижается. Это обусловлено способностью многих полярных групп к диссоциации и повышенной способностью этих групп переходить в результате химических реакций с водой, кислородом и другими соединениями в ионогенные группы, а также большей склонностью полярных полимеров поглощать (растворять) ионогенные вещества (воду, растворы солей, кислоты и т. д.), чем неполярные полимеры.

Значения  $r_V$  и  $r_S$  различаются для материалов с сопротивлением более  $1 \cdot 10^8$  Ом · м. Это обусловлено тем, что поверхность может легче окисляться, содержать большее количество примесей, ПАВ и поэтому  $r_S$  может быть меньше, чем  $r_V$ .

Для качественной электрической изоляции необходимо применять полимеры с высоким электрическим сопротивлением, а следовательно, с минимальным числом ионогенных групп и ионогенных примесей. Таким требованиям отвечают, например, полиэтилен, полипропилен, полистирол. Удельное объемное электрическое сопротивление этих полимеров составляет  $1 \cdot 10^{15} - 1 \cdot 10^{20}$  Ом · м.

Помимо полимеров, обладающих хорошими диэлектрическими свойствами, все более широкое применение находят антистатические полимеры, не накапливающие зарядов статического электричества. К антистатическим относят материалы с  $r_V$  или  $r_S$  менее  $1 \cdot 10^{10}$  Ом · м.

Кроме того, находят применение и электропроводящие полимеры с  $r_V$  менее  $1 \cdot 10^6$  Ом · м. Электропроводящими свойствами обладают некоторые полимеры благодаря особенностям химического строения. Это полимеры с системой сопряженных связей, полимерные комплексы с переносом заряда и др. Например, полиацетилен, карбин, полипиррол, полианилин и др. Все эти полимеры из-за высокой жесткости цепи неплавки и обладают высокой хрупкостью. Вследствие этого они не нашли широкого применения. В качестве полимерных материалов, обладающих электропроводящими свойствами, используют композиции на основе широко распространенных полимеров, содержащих электропроводящие порошкообразные и волокнистые наполнители. Такими наполнителями являются порошки металлов, графита, углеродное волокно, технический углерод (сажа).

Антистатические и электропроводящие композиции применяют для упаковки, хранения и транспортировки различных легко воспламеняющихся веществ или изделий, приходящих в негодность от зарядов статического электричества (радиоэлектронных микроэлементов). Кроме того, их используют для экранизации от электромагнитных излучений, изготовления низкотемпературных электрических нагревательных элементов, наркозного оборудования. Своим широким применением они обязаны простоте переработки, низкой плотности и высокой химической стойкости.

### ***Работа 32. Определение удельного объемного и удельного поверхностного электрического сопротивления полимеров***

**Цель работы:** ознакомиться с методикой измерения  $r_V$  и  $r_S$  и определить эти величины для ряда полимеров согласно ГОСТ 6433.2—71.

Работа на оборудовании (приборе) разрешается только после изучения устройства, принципа его действия и правил безопасной работы на нем (см. главу 7), прохождения инструктажа по технике безопасности и в присутствии преподавателя или учебного мастера, имеющего специальный допуск.

**Сущность метода** заключается в измерении силы тока, проходящего через полимерный образец известных геометрических размеров при приложении к нему заданного электрического потенциала, и определении электросопротивления образца по закону Ома. Зная электросопротивление образца и его геометрические размеры, можно легко рассчитать величину электросопротивления единицы объема или единицы поверхности материала.

Для измерения электросопротивления полимеров используют специальные приборы, такие как тераомметры или электрометрические вольтметры, способные измерять очень малые токи ( $1 \cdot 10^{-8}$ — $1 \cdot 10^{-15}$  А). Для этого в них имеется специальный усилитель тока. Изменяя коэффициент усиления, можно измерять электросопротивление образцов в широких пределах. Шкала таких приборов обычно проградуирована в омах.

Как отмечено выше, измеряемые токи очень малы. Такие токи легко навести в проводнике внешними, даже слабыми магнитными и электрическими полями, например полем человека. Даже резкое движение рукой может заставить стрелку такого прибора резко изменить показания. Это необходимо учитывать при работе на приборе. Для уменьшения внешних воздействий образец помещают в защитный металлический экран и используют измерительную ячейку специальной конструкции, уменьшающую внешние наводки.

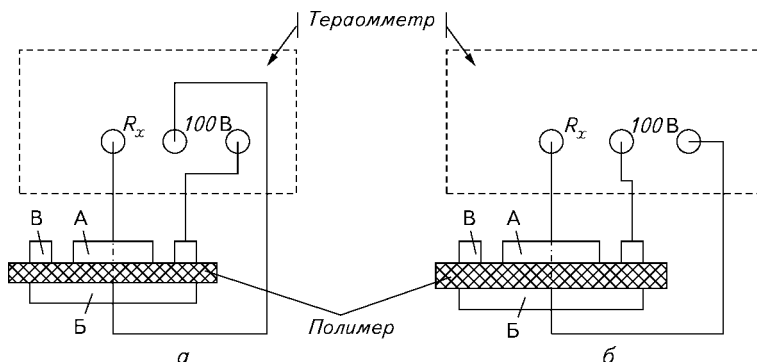
**Приборы и оборудование:** тераомметр Е6-13 или Е6-13А, измерительная ячейка из трех электродов в соответствии с ГОСТ 6433.2—71 (рис. 5.1), соединительные провода, толщиномер.

**Образцы для испытаний:** полимерные пленки толщиной 0,01—0,1 мм.

**Описание конструкции ячейки.** Для подключения полимерного образца к измерительному прибору ГОСТ 6433.2—71 предусмотрена специальная ячейка (см. рис. 5.1), состоящая из двух цилиндрических А и Б и одного кольцевого В электродов.

В ячейку помещается пленка или пластинка исследуемого полимера так, как показано на рис. 5.1. Для измерения  $r_V$  необходимо, чтобы ток протекал через объем образца, поэтому разность потенциалов прибора прикладывается к противоположным сторонам пленки — к электродам А и Б (рис. 5.1, а).

Кольцевой электрод В служит для предохранения электрода А от внешних электромагнитных полей и выполняет роль экрана.



**Рис. 5.1. Конструкция ячейки и схема подключения электродов к тераомметру при измерении:**

$a - r_V$ ;  $b - r_S$ ;  $R_x$  — измеряемое электрическое сопротивление

Удельное объемное электрическое сопротивление образца в такой ячейке рассчитывают по уравнению

$$\rho_V = \frac{\pi[(D_A + D_B)/2]^2}{4b} R_x, \quad (5.4)$$

где  $D_A$  — диаметр электрода А, см;  $D_B$  — диаметр электрода В, см;  $b$  — толщина пленки полимера, см;  $R_x$  — электрическое сопротивление образца по прибору.

При измерении  $r_S$  необходимо, чтобы ток проходил по поверхности образца, поэтому электрическое напряжение подают на электроды А и В, а электрод В является охранным (рис. 5.1, б). При этом ток течет по поверхности кольцевого участка между электродами А и В. В этом случае расчет ведется по уравнению

$$\rho_S = \frac{\pi(D_A + D_B)}{(D_B - D_A)} R_x, \quad (5.5)$$

где  $R_x$  — электрическое сопротивление полимерного образца по тераомметру.

Электросопротивление полимеров измеряют обычно на таких приборах, как тераомметры или электрометрические вольтметры. Методика работы на одном из таких приборов описана ниже.

**Конструкция тераомметра Е6-13А и работа на нем.** Тераомметр имеет 23 диапазона измерения электросопротивления от  $1 \cdot 10^2$  до  $1 \cdot 10^{13}$  Ом. Он содержит четыре шкалы для отсчета: две линейные и две нелинейные. В зависимости от диапазона измерения отсчет ведут по одной из шкал. Диапазоны с  $1 \cdot 10^2$  до  $1 \cdot 10^6$  являются ли-



нейными. При работе на них пользуются одной из двух линейных шкал (две нижние шкалы). Диапазоны измерения от  $1 \cdot 10^6$  до  $1 \cdot 10^{13}$  Ом являются нелинейными. При работе на них отсчет ведут по одной из двух нелинейных шкал (две верхние шкалы). При выборе шкалы исходят из общего для всех стрелочных приборов правила, что правое крайнее значение шкалы соответствует значению выбранного диапазона измерения. Это означает, что правое (последнее) число выбранной шкалы должно быть первым в обозначении диапазона измерения, а при отсчете необходимо полученное по шкале значение умножать на 10 в степени, соответствующей диапазону измерения.

**Порядок выполнения работы.** Переключатель «Уст. 0 — Измерение» тераомметра устанавливают в положение «Уст. 0». Включают тумблер «Сеть». Прогревают прибор в течение 15—20 мин. Ручкой «Уст. 0» устанавливают стрелку прибора на нулевое значение по линейной шкале. Измеряют толщину пленки полимера с точностью до 0,01 мм. Устанавливают пленку полимера в ячейку, подключают клеммы ячейки к тераомметру, как показано на рис. 5.1, соответственно для измерения  $r_V$  или  $r_S$ . Устанавливают предел измерения  $1 \cdot 10^8$ — $1 \cdot 10^{10}$  Ом. Переключатель «Уст. 0 — Измерение» устанавливают в положение «Измерение». Выбирают диапазон измерения, при котором стрелка не будет «зашкаливать» или показывать 0 (желательно, чтобы она находилась ближе к центру шкалы), затем определяют соответствующую выбранному диапазону шкалу и только потом производят отсчет  $R$ .

Подобным образом производят измерение  $R$  не менее чем на пяти различных участках пленки.

**Обработка результатов.** Значения  $r_V$  и  $r_S$  рассчитывают по уравнениям (5.4) и (5.5) соответственно. За конечный результат принимают среднее арифметическое значение пяти измерений. Результаты измерений заносят в табл. 5.1.

**Задания:** 1) сравнить полученные значения  $r_V$  и  $r_S$  с их справочными значениями для данных полимеров и сделать вывод об их соответствии; 2) обосновать возможность или невозможность применения этих полимеров в качестве электрической изоляции в высоковольтных цепях.

**Таблица 5.1. Форма записи результатов измерения**

Образец	Толщина пленки, мм	Диаметр электрода, мм		$R_V$ , Ом	$R_S$ , Ом	$\rho_V$ , Ом · м	$\rho_S$ , Ом
		внешний <i>A</i>	внутренний <i>B</i>				

### **Работа 33. Определение диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь полимеров**

**Цель работы:** ознакомиться с методикой измерения  $\epsilon$  и  $\operatorname{tg} \delta$  и определить эти характеристики для заданных полимеров согласно ГОСТ 6433.4—71.

**Сущность метода.** Величина  $\epsilon$  определяется как отношение емкости конденсатора, заполненного исследуемым полимером, к емкости этого же конденсатора, заполненного вакуумом. Поэтому измерение  $\epsilon$  сводится к определению электрической емкости плоского конденсатора, заполненного исследуемым полимером. Электрическую емкость конденсатора, заполненного вакуумом, определяют расчетным путем, исходя из его геометрических размеров. Измерения производят одним из двух способов: либо на различных электрических емкостных мостах переменного тока, либо на измерителях добротности ( $Q$ -метрах).

**Образцы для испытаний.** Образцами служат пленки (пластинки) различных полимеров толщиной 0,5—2 мм и площадью не менее  $50 \times 50$  мм. Поверхности образцов должны быть строго параллельны друг другу; не допускается наличие дефектов в виде следов механической обработки, трещин, раковин, вздутий, бугорков.

Из каждого испытуемого материала изготавливают не менее трех образцов. Перед испытанием материал кондиционируют в течение 24 ч при  $20 \pm 2$  °С и относительной влажности воздуха  $65 \pm 5$  %.

#### **Способ 1. Определение $\epsilon$ и $\operatorname{tg} \delta$ полимерных пленок с помощью емкостного моста**

**Приборы и оборудование:** измеритель  $L, C, R$  универсальный Е7-11 (или другой с частотой измерения от 50 до  $1 \cdot 10^8$  Гц и точностью измерения емкости 1 пФ, например, Р-589, Р-5004 и др.); измерительная ячейка (измерительный конденсатор) с двумя плоскопараллельными электродами в виде дисков диаметром 50 мм; соединительные провода, толщиномер.

**Подключение образца к электродам.** Пленку исследуемого полимера помещают между электродами так, чтобы последние плотно прижимались по всей поверхности к полимеру и были строго соосны. Не допускается наличие микропустот между электродами и образцом. Для обеспечения плотного контакта производится притирка электродов к образцу с помощью электротехнического вазелина. Притертые электроды прижимаются к образцу с усилием  $1 \cdot 10^4$  Н/м<sup>2</sup>.

Можно обеспечить бездефектный контакт путем припрессовывания электродов из алюминиевой или медной фольги к полимер-

ной термопластичной пленке. Изготовление образцов при этом производится по методике, описанной в разделе 2.5, где вместо антиадгезионной пленки используется металлическая фольга. При измерении толщины пленки необходимо учитывать толщину фольги.

**Порядок выполнения работы.** К клеммам прибора подсоединяют электроды с помощью проводов. Устанавливают ручки прибора Е7-11 в исходное положение: переключатель « $L, C, R$ » — в положение « $C$ »; переключатель « $Q > 0,5; Q < 0,5; \operatorname{tg} \delta$ » — в положение « $\operatorname{tg} \delta$ »; переключатель «Частота» — в положение 1000 Гц; переключатель «Пределы» — в крайнее правое положение (7-й предел); шкалу « $\operatorname{tg} \delta$ » — на нулевое значение; ручку «Чувствительность» — в крайнее правое положение. Включают тумблер «Сеть».

Выбирают нужный предел измерения. Для этого на шкалах «Множитель» устанавливают переключателем и ручкой значение 1,090. Нажимают на кнопку «Выбор предела». При этом стрелка индикатора должна отклониться вправо (если этого не произошло, необходимо заменить пленку исследуемого полимера на более тонкую и снова повторить выбор предела). Далее, удерживая кнопку «Выбор предела», вращают переключатель «Пределы» влево до тех пор, пока знак фазы напряжения разбаланса на индикаторе прибора не изменится на противоположный. Это и будет предел, на котором должно производиться измерение. Отпускают кнопку «Выбор предела».

**Измерение.** Устанавливают ручкой «Чувствительность» значение на индикаторе разбаланса, равное 50—70 мкА. Производят уравнивание моста сначала переключателем «Множитель» и затем ручкой «Множитель» до получения минимума значения на индикаторе разбаланса. Затем повышают чувствительность прибора, для чего ручку «Чувствительность» поворачивают по часовой стрелке до значения 50—70 мкА на индикаторе разбаланса. Далее повторяют действия по уравниванию моста. Повторяют действия по повышению чувствительности прибора и уравниванию моста до максимальной чувствительности прибора. Найдя минимум показаний индикатора, переходят к уравниванию моста по диэлектрическим потерям. Для этого вращением ручки « $\operatorname{tg} \delta$ » находят минимальное значение показаний индикатора, после чего вновь возвращаются к уравниванию моста по емкости ручками «Множитель».

**Отсчет значения.** Измеренная величина емкости  $C$  равна показанию  $S$  ручки «Пределы», умноженному на значение по шкале «Множитель». Величина тангенса угла диэлектрических потерь отсчитывается непосредственно по шкале « $\operatorname{tg} \delta$ » прибора.

**Обработка результатов.** Величина  $\epsilon$  рассчитывается по уравнению (5.2). Значение емкости конденсатора в вакууме  $C_0$  рассчиты-

вается по уравнению

$$C_0 = D^2/(16b), \quad (5.6)$$

где  $D$  — диаметр электрода, мм;  $b$  — толщина полимерного образца.

При определении  $\epsilon$  необходимо учесть, что расчетное значение  $C_0$  получается в мм, а измеренное значение  $C$  — в пФ, нФ или мФ.

Результаты измерений и расчетов заносят в таблицу 5.2

**Таблица 5.2. Результаты измерения диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь**

Образец	$b$ , мм	$D$ , мм	Частота, Гц	$C_0$ , мм	$C$ , мм	$\operatorname{tg} \delta$	$\epsilon$

**Задания:** 1) проверить соответствие найденных значений диэлектрических характеристик полимеров справочным значениям; 2) обосновать возможность или невозможность использования данных полимеров для работы в высокочастотных переменных электрических полях.

**Способ 2.** Определение  $\epsilon$  и  $\operatorname{tg} \delta$  полимерных пленок с помощью  $Q$ -метра

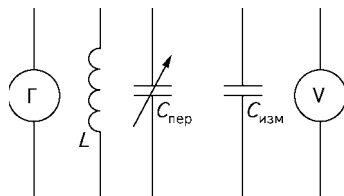
**Сущность метода.** Метод основан на определении изменения добротности  $Q$  электрического колебательного контура (емкость + + индуктивность) при параллельном подключении к нему дополнительного конденсатора с диэлектриком из исследуемого полимера (рис. 5.2).

При равенстве собственной частоты контура и частоты генератора  $\Gamma$  потенциал  $U$  на контуре возрастает в несколько раз. Кратность возрастания этого потенциала называется *добротностью контура*  $Q$ . Тангенс диэлектрических потерь обратно пропорционален добротности контура.

Изменяя значение емкости конденсатора  $C_{\text{пер}}$ , можно добиться совпадения частоты контура с частотой генератора. Это позволяет определить добротность контура по изменению  $U$  и емкость изме-

**Рис. 5.2. Принципиальная схема работы  $Q$ -метра:**

$\Gamma$  — генератор;  $L$  — индуктивность;  $C_{\text{пер}}$  — переменный конденсатор;  $C_{\text{изм}}$  — внешний измерительный конденсатор (ячейка с образцом);  $V$  — вольтметр



рительного конденсатора  $C_{\text{изм}}$  с исследуемым образцом. Далее расчетным путем находят величины  $\epsilon$  и  $\text{tg } \delta$ .

**Приборы и оборудование.**  $Q$ -метр (марок Е-9-4 или Е-9-5, Е4-11, Tesla-ВМ560 и др.); измерительная ячейка (измерительный конденсатор) с двумя плоскопараллельными электродами в виде дисков диаметром 50 мм и толщиной не более 3 мм; соединительные провода; толщиномер.

**Порядок выполнения работы.** Образец в виде пленки зажимают между электродами с усилием  $1 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2$ . Устанавливают на  $Q$ -метре требуемую частоту (50— $1 \cdot 10^8$  Гц) по заданию преподавателя. Производят калибровку прибора и установку его нулевых значений. С помощью соединительных проводов подключают электроды к клеммам «СХ» прибора.

Находят емкость переменного конденсатора  $C_{\text{пер}}$ , соответствующую вхождению контура в резонанс с генератором, для чего вращением ручки «Емкость» добиваются максимального показания прибора по шкале добротности  $Q$ . Записывают полученные значения  $C_1$  и  $Q_1$ . Затем извлекают полимерный образец из ячейки и устанавливают расстояние между электродами, равное толщине образца. Повторяют поиск максимального значения добротности для ячейки без образца. Записывают полученные значения  $C_2$  и  $Q_2$ . Отсоединяют измерительный конденсатор от прибора. Поворотом ручки «Емкость» добиваются резонанса (максимального значения  $Q$ ). Записывают соответствующее значение емкости  $C_{\text{рез}}$ . Результаты измерений заносят в табл. 5.3.

**Таблица 5.3. Результаты измерения диэлектрических свойств полимеров**

Образец	$b$ , мм	$D$ , мм	$C_1$ , пФ	$C_2$ , пФ	$C_{\text{рез}}$ , пФ	$Q_1$	$Q_2$	$\epsilon$	$\text{tg } \delta$

**Обработка результатов.** Диэлектрическая проницаемость рассчитывается по формуле

$$\epsilon = 14,4C_x \frac{b}{D^2}. \quad (5.7)$$

Здесь  $C_x$  вычисляется по формуле

$$C_x = (C_2 - C_1) + 0,0695 \frac{D^2}{b}. \quad (5.8)$$

Тангенс угла диэлектрических потерь находят по формуле

$$\text{tg } \delta = \frac{Q_2 - Q_1}{Q_1 Q_2} \frac{C_{\text{рез}}}{C_x}. \quad (5.9)$$

**Задания:** 1) проверить соответствие найденных значений диэлектрических характеристик полимеров справочным значениям; 2) обосновать возможность или невозможность использования данных полимеров для работы в высокочастотных переменных электрических полях.

### **Работа 34. Определение электрической прочности полимеров**

**Цель работы:** ознакомиться с методикой испытания электрической прочности диэлектриков; определить электрическую прочность данного полимерного образца.

**Сущность метода.** Метод основан на постепенном повышении напряженности внешнего электрического поля, приложенного к образцу, до пробоя образца. Испытания проводят на специальной высоковольтной установке по методике, описанной в ГОСТ 6433.3—71.

**Приборы и принадлежности.** Универсальная пробойная установка типа УПУ-10; измерительная электроизоляционная камера; электроды по ГОСТ 6433.3—71; высоковольтные соединительные провода; толщиномер.

**Образцы для испытаний.** Полимерные пленки толщиной 0,1—0,3 мм и размером не менее 50 × 50 мм — 5 шт. Образцы должны быть ровными, гладкими, без видимых дефектов. Предварительно производится кондиционирование образцов (как описано в работе 5.2).

**Порядок выполнения работы.** К работе можно приступать только после ознакомления с устройством прибора и правилами безопасной работы на нем. Работу следует производить в резиновых электроизоляционных высоковольтных перчатках и на резиновом изоляционном коврике. Перед работой необходимо тщательно проверить наличие заземления, подсоединения кабеля блокировки к установке и ограждению.

**Подготовка прибора к испытанию.** Перед началом работы установка должна находиться в исходном состоянии: сеть отключена (красная сигнальная лампочка над ключом «Сеть 220 В» не горит; переключатель «Диапазон выходного напряжения» установлен на «1 кВ»; ручка «Выходное напряжение» находится в крайнем левом положении (при нажатой ручке), тумблер «— ~» находится в положении «—» или «~» в зависимости от испытаний при постоянном или переменном напряжении.

Образец зажимают между электродами с усилием 1 Н (рис. 5.3), устанавливая его в испытательную камеру, тщательно проверяют правильность соединения проводов, закрывают дверцу испытательной камеры.

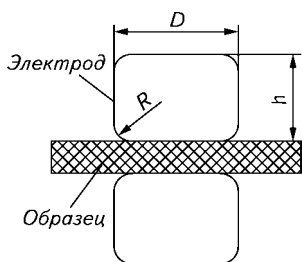


Рис. 5.3. Схема электродов и расположения образца при измерении электрической прочности полимеров:

$D = 50$  мм;  $h = 25$  мм;  $R = 2,5$  мм

Включают прибор, для чего ключ «Сеть 220 В» поворачивают по часовой стрелке, нажимают на него и поворачивают против часовой стрелки (должен загореться красный сигнал над ключом). Нажимают зеленую кнопку «Контроль». Стрелка киловольтметра должна отклониться на полную шкалу, а стрелка миллиамперметра — показать 0,1 мА. Отпускают кнопку «Контроль».

Проверяют, находится ли ручка «Выходное напряжение» в крайнем левом положении, а переключатель «Диапазон выходного напряжения» на диапазоне «1 кВ».

**Испытания.** Левой рукой нажимают красную кнопку «Выходное напряжение — включение». Загорается сигнальная табличка «Включено». Нажимая и медленно поворачивая ручку «Выходное напряжение» по часовой стрелке, следят за показаниями прибора. При пробое зажигается табличка «Пробой» и происходит возрастание показания миллиамперметра. При пробое отсчитывают пробойное напряжение по киловольтметру и отпускают кнопку «Выходное напряжение — включение».

Если при достижении крайнего правого положения ручки «Выходное напряжение» пробой не произошло, то отпускают кнопку «Выходное напряжение — включение», возвращают ручку «Выходное напряжение» в крайнее левое положение и устанавливают переключатель «Диапазон выходного напряжения» на диапазон 3 кВ. Затем повторяют все действия, описанные в разделе «Испытания».

Если и в этом случае пробоя не произошло, то отпускают кнопку «Выходное напряжение — включение», возвращают ручку «Выходное напряжение» в крайнее левое положение, устанавливают переключатель «Диапазон выходного напряжения» на 10 кВ и повторяют те же действия.

После окончания испытания приводят все ручки прибора в исходное положение и отключают прибор поворотом ключа «Сеть 220 В» по часовой стрелке.

Открывают дверцу испытательной камеры и извлекают образец. Помещают на его место второй полимерный образец, опреде-

ляют его пробойное напряжение. Число параллельных испытаний каждого полимера должно быть равно 5.

**Обработка результатов.** Электрическая прочность рассчитывается по формуле

$$E_{\text{пр}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{U_i}{b_i}, \quad (5.10)$$

где  $U_i$  — пробойное напряжение, кВ;  $b_i$  — толщина образца, мм;  $n$  — число измерений.

Полученные результаты заносят в табл. 5.4.

**Таблица 5.4. Результаты определения электрической прочности**

Образец ( $i$ )	$b_i$ , мм	$U_i$ , кВ	$E_{\text{пр}}$ , кВ/мм
-----------------	------------	------------	-------------------------

**Задания:** 1) проверить соответствие найденных характеристик электрической прочности исследуемого полимера справочным значениям; 2) обосновать возможность или невозможность применения исследованного полимера в качестве высоковольтной изоляции.



## **Глава 6**

---

### **ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛИМЕРОВ**

#### **6.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВАХ ПОЛИМЕРОВ**

Механические, эксплуатационные и технологические свойства полимеров очень сильно зависят от температуры. В зависимости от назначения полимеры могут эксплуатироваться в различных физических состояниях (высокоэластическом, стеклообразном, кристаллическом). Поэтому для правильного выбора и эксплуатации полимера необходимо знать зависимость его свойств от температуры.

Существует большое количество температурных характеристик полимеров: тепло-, термо- и морозостойкость; температуры хрупкости, стеклования, размягчения, текучести, деструкции и др.

#### **6.2. СВОЙСТВА ПОЛИМЕРОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ**

При нагревании возрастает кинетическая энергия молекул, все виды молекулярных взаимодействий ослабевают и макромолекулы приобретают большую подвижность, что отражается на всем комплексе свойств полимера. В результате аморфные полимеры переходят из стеклообразного состояния в высокоэластическое и далее в вязкотекучее, а кристаллические полимеры плавятся. Это отражается на всем комплексе свойств полимера, в том числе и на механических свойствах. При эксплуатации полимерного материала наиболее важны именно его механические свойства. Поэтому из всех температурных характеристик полимера наибольшее внимание уделяют связи механических свойств с температурой. Наиболее полную характеристику дают зависимости каждого из механических свойств от температуры. Но получение таких зависимостей весьма трудоемко. Вместе с тем имеются узкие температурные области (температурные точки), при которых кардинальным образом меняются механические характеристики полимеров. К таким относятся температуры стеклования, текучести и плавления. Эти температуры достаточно просто можно определить по изменению степени деформируемости полимера в процессе нагревания. В результате получается кривая зависимости степени дефор-

**Рис. 6.1. Термомеханические кривые полимеров:**

1 и 3 — аморфных; 2 — кристаллического

мации образца от температуры, которая получила название *термомеханической кривой* (ТМК); соответствующий метод анализа — *термомеханический анализ*.

Обычно термомеханические кривые получают при нагревании полимерного образца, подвергнутого воздействию механической нагрузки. Нагрузка может быть сжимающей, растягивающей, изгибающей, скручивающей, постоянной или переменной.

На ТМК аморфного полимера можно выделить все три физических состояния: стеклообразное, высокоэластическое и вязкотекучее (рис. 6.1, кривая 1).

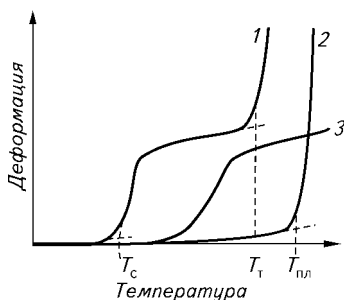
При температурах ниже температуры стеклования  $T_c$  аморфные полимеры находятся в твердом агрегатном состоянии. Деформация полимера в этом интервале температур невелика. При достижении температуры стеклования  $T_c$  молекулярная подвижность увеличивается, так что молекулы могут изменять конформацию под действием внешних сил (высокоэластическое состояние). При этой температуре на ТМК наблюдается заметный рост значения деформации до некоторой величины (см. рис. 6.1).

При достижении температуры текучести  $T_t$  полимер переходит из высокоэластического состояния в вязкотекучее. В этом состоянии у полимеров под действием внешних сил развивается необратимая деформация истинного течения. На ТМК это отражается в 100%-й деформации полимера.

Если в аморфном полимере существуют поперечные связи, то перейти в вязкотекучее состояние он вообще не может. Для него наблюдается лишь температура стеклования (см. рис. 6.1, кривая 3).

Иной вид имеет ТМК для кристаллических полимеров (см. рис. 6.1, кривая 2). Если полимер содержит более 30 % (об.) кристаллической фазы, то при действии малых нагрузок он практически не деформируется до температуры плавления  $T_{пл}$ . В результате на ТМК такого полимера, как правило, нельзя увидеть ни  $T_c$ , ни  $T_t$  аморфной фазы полимера. Только при температуре плавления кристаллитов  $T_{пл}$  полимер переходит в вязкотекучее состояние.

Температурные переходы полимеров, сопровождающиеся выделением или поглощением теплоты, можно проследить при исследовании их методом ДТА (дифференциально-термического анализа). Так можно определить температуры плавления, кри-



таллизации, окисления, термодеструкции полимера. Метод основан на сравнении температур полимера и эталонного вещества при подводе (отводе) к ним одинакового количества теплоты (при нагревании или охлаждении в одном объеме с одинаковой скоростью). (Эталонными считаются вещества, в которых в измеряемой области температур не происходят процессы, сопровождающиеся выделением или поглощением теплоты.) При наличии у полимера теплового эффекта он оказывается теплее (выделение теплоты при кристаллизации, окислении) или холоднее (поглощение теплоты при плавлении) эталонного вещества. Разность температур полимера и эталона фиксируется дифференциальной термопарой и записывается милливольтметром.

ТМК и ДТА качественно дополняют друг друга и дают наиболее полную информацию об изменении свойств полимеров при нагревании.

В отличие от низкомолекулярных веществ полимеры при температуре ниже температуры стеклования способны к вынужденно-эластической деформации, которая обусловлена способностью длинных макромолекул менять свою конформацию под действием нагрузок. Поэтому ниже  $T_g$  полимеры не являются абсолютно хрупкими телами. Это позволяет эксплуатировать полимеры ниже  $T_g$ , не опасаясь их хрупкого разрушения. Величина вынужденно-эластической деформации уменьшается как с увеличением скорости деформирования, так и при снижении температуры. И при определенной низкой температуре (или высокой скорости деформирования) полимер начинает разрушаться хрупко (без развития вынужденно-эластической деформации). Данная температура называется *температурой хрупкости*, или *морозостойкостью*. Таким образом, полимеры как конструкционные материалы в основном работают в интервале температур ниже температуры стеклования и выше температуры хрупкости, особенно если детали машин или приборов подвергаются действию динамических нагрузок. Поэтому температура хрупкости является важной температурной характеристикой полимера. Величина температуры хрупкости зависит от условий ее определения. Эти условия оговариваются в стандартах.

Чем выше температура полимера, находящегося в стеклообразном состоянии, тем при меньшей величине нагрузки в нем начинает развиваться вынужденно-эластическая деформация. Поэтому полимер нельзя подвергать большим нагрузкам при температурах незначительно ниже  $T_g$ . В связи с этим имеется характеристика полимера, называемая *температурой размягчения* (раньше она называлась *теплостойкостью*), выше которой полимер нельзя подвергать большим нагрузкам без риска существенно деформировать его. Эта температура весьма условна. Она равна температуре, при

которой в полимере развивается заданная ГОСТом величина деформации при воздействии определенной нагрузки. Она обычно определяется при вдавливании стального цилиндрического стержня (температура размягчения по методу Вика) или при изгибе консольно закрепленного бруска под действием груза (температура размягчения по методу Мартенса).

### **Работа 35. Термомеханический метод исследования полимеров**

**Цель работы:** ознакомиться с методом снятия ТМК, получить ТМК полимера и определить его температурные переходы.

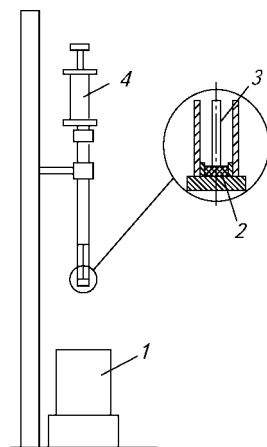
**Сущность метода.** Определение зависимости деформации полимерного образца при вдавливании металлического стержня от температуры при фиксированных условиях воздействия механической нагрузки и заданной скорости нагрева.

Прибор для снятия термомеханических кривых представлен на рис. 6.2.

**Устройство и принцип действия прибора.** Построение термомеханической кривой (ТМК) ведется путем записи величины вдавливания стержня в полимер при действии на стержень постоянной вдавливающей нагрузки в зависимости от температуры полимера. Как правило, температура измеряется при помощи электрической термопары, а величина вдавливания (перемещения) стержня определяется индукционным датчиком, преобразующим перемещение стержня в электрический сигнал. Это позволяет записывать ТМК автоматически при помощи двухкоординатного милливольтметра, на котором по одной оси измеряется показание термопары (температура), а по другой — перемещение стержня (деформация).

**Приготовление образца.** Образец вырубается из пластмассовой пластины или листа специальным ножом. Диаметр образца 5—6 мм, толщина до 2 мм. Плоскости образца должны быть параллельными и без заусенцев.

Образец помещается в ячейку прибора. К образцу 2 (см. рис. 6.2) подводится пуансон 3 до соприкосновения с ним.



**Рис. 6.2. Схема прибора для снятия ТМК при вдавливании стержня:**

1 — нагреватель; 2 — образец; 3 — вдавливаемый стержень (пуансон); 4 — датчик перемещения стержня

**Подготовка термоблока.** Если опыт начинается с отрицательной температуры, то термоблок следует предварительно охладить путем опускания его в жидкий азот, внутрь термоблока опустить ячейку с образцом и пуансоном, задать скорость нагрева термоблока и включить его нагрев. По мере нагрева записать зависимость деформации образца от температуры.

**Обработка результатов.** Из полученной ТМК в координатах «деформация — температура» определить температуру стеклования и температуру текучести полимера. Сделать вывод о наличии или отсутствии химических процессов, происходящих в полимере, и сравнить  $T_c$  и  $T_T$  со справочными данными.

**Примечание:** при обработке ТМК к линиям перегиба проводят касательные. По точкам пересечения касательных на шкале  $X$  находят численные значения  $T_c$  и  $T_T$ . Полученные температурные характеристики используются при расчете технологических параметров процессов литья под давлением (см. работу 18) и экструзии (см. работу 17).

### **Работа 36. Определение коэффициента морозостойкости полимеров, находящихся в высокоэластическом состоянии**

**Цель работы:** ознакомиться с методом определения коэффициента морозостойкости.

**Сущность метода.** Под коэффициентом морозостойкости полимера понимается кратность уменьшения деформируемости образца при снижении температуры. Для определения коэффициента морозостойкости образец предварительно растягивается до заданного удлинения под действием нагрузки при температуре  $23 \pm 2$  °С. Затем определяют удлинение образца под действием той же нагрузки при определенной пониженной температуре. Рассчитывают отношение удлинения при определенной пониженной температуре к удлинению при 23 °С. Это отношение называется *коэффициентом морозостойкости* при определенной температуре. Испытание проводят согласно ГОСТ 408—78.

Испытания проводят на разрывных машинах (динамометрах), оснащенных криокамерой, например МР500Т-2, или на специализированных приборах для определения коэффициента морозостойкости, например ПМР-1. Применяют образцы в форме полосок шириной  $6,0 \pm 0,4$  или  $3,0 \pm 0,2$  мм, длиной не менее 50 мм при длине рабочего участка  $25,0 \pm 0,5$  мм, с расширенными концами для закрепления в зажимах. Образцы вырезают из пластин толщиной  $1,0 \pm 0,2$  мм или  $2,0 \pm 0,2$  мм. При испытании образцов измеряют толщину рабочего участка в трех точках, за результат из-

мерения принимают среднее арифметическое значение. На образец наносят метки, ограничивающие длину рабочего участка, равную  $25,0 \pm 0,5$  мм. Образец растягивают 3 раза в течение 3—6 с на  $150 \pm 10$  % относительно длины рабочего участка и оставляют в свободном ненагруженном состоянии для «отдыха» в течение  $300 \pm 60$  с. Затем метки стирают и наносят новые (или наносят метки на другой стороне образца).

Испытания при  $23 \pm 2$  °С. После «отдыха» закрепляют образец в зажимах по новым меткам. Под действием нагрузки образец растягивается на  $100 \pm 5$  % в течение времени действия  $300 \pm 50$  с. Продолжительность повышения нагрузки до заданного значения не должна превышать 10 с. Отсчет времени действия нагрузки начинают с момента ее полного приложения. Подобранный нагрузку используют для испытаний остальных образцов независимо от получаемого на них удлинения. Образцы, на которых подбирали нагрузку, дальнейшим испытаниям не подвергают.

Не использованный ранее образец закрепляют в зажимы. Нагружают его нагрузкой, установленной по описанной методике. Продолжительность повышения нагрузки до заданного значения не должна превышать 10 с. Выдерживают образец под этой нагрузкой  $300 \pm 5$  с и по шкале прибора определяют величину удлинения образца ( $l_1$ ). Разгружают образец.

Испытания при пониженной температуре. Устанавливают в криокамере прибора пониженную температуру, указанную в нормативно-технической документации на испытуемый материал или указанную преподавателем. После достижения требуемой температуры криокамеру с образцом выдерживают еще не менее 300 с. Прикладывают к образцу ту же нагрузку, что и при испытании при 23 °С. Продолжительность повышения нагрузки до заданного значения не должна превышать 10 с. Через  $300 \pm 5$  с после нагружения определяют по шкале прибора удлинение образца ( $l_2$ ).

**Обработка результатов.** Коэффициент морозостойкости образца  $K$  вычисляют по формуле

$$K = l_2/l_1,$$

где  $l_1$  — удлинение образца, мм, при температуре  $23 \pm 2$  °С;  $l_2$  — удлинение образца при пониженной температуре, мм.

**Примечание:** при  $K = 0,5$  и более отклонение каждого значения от среднего арифметического должно быть не более  $\pm 10$  %. При  $K < 0,5$  допускается отклонение каждого значения от среднего арифметического не более чем на  $\pm 0,05$ . Вычисленное значение округляют до 0,01.

Если отклонение превышает указанные значения, образцы не учитывают и среднее арифметическое вычисляют для оставшихся образцов, число которых должно быть не менее трех. Вычисленное значение  $K$  округляют до сотых долей.

**Результаты испытаний** оформляют протоколом, в котором указывают следующие данные: максимальное количество образцов, тип прибора, толщина образцов, нагрузка, температура испытания, удлинение каждого образца при температуре  $23 \pm 2$  °С.

При низкой температуре коэффициент морозостойкости может быть вычислен по формуле

$$K = E/E_1,$$

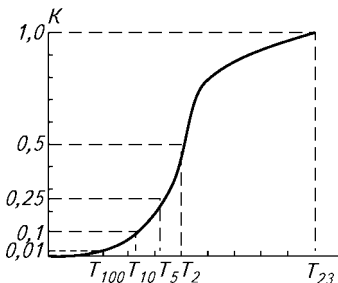
где  $E$  — модуль упругости образцов, Па, при температуре  $23 \pm 2$  °С;  $E_1$  — модуль упругости образцов при низкой температуре, Па.

Модуль упругости при всех температурах испытаний вычисляется по формуле

$$E = \frac{Pl}{SL_1},$$

где  $P$  — нагрузка, Н;  $l$  — длина рабочего участка недеформированного образца, равная 100 мм;  $S$  — площадь поперечного сечения рабочего участка недеформированного образца, м<sup>2</sup> (при вычислении поперечного сечения за ширину образца принимают ширину рабочей части штанцевого ножа);  $L_1$  — удлинение образца при температуре испытания, мм.

Для каждого образца строят зависимость коэффициентов морозостойкости от температуры испытания (рис. 6.3) и определяют температуры, при которых модули упругости возрастают в 2; 5; 10 и 100 раз по сравнению с модулем упругости при температуре  $23 \pm 2$  °С. Этим температурам соответствуют коэффициенты морозостойкости 0,5; 0,2; 0,10 и 0,01. Вычисляют среднее арифметическое для каждой из температур  $T_2$ ,  $T_5$ ,  $T_{10}$ ,  $T_{100}$  и округляют его до целого числа.



**Рис. 6.3.** Зависимость коэффициента морозостойкости от температуры испытания

### Работа 37. Определение температуры размягчения полимеров по методу Вика

**Цель работы:** ознакомиться с методом температуры размягчения пластмасс по методу Вика; произвести испытания образцов различных пластмасс по этому методу.

**Сущность метода.** Температура размягчения по методу Вика — это температура, при которой происходит деформация образца на 1 мм при воздействии на него цилиндрического стержня площадью 1 мм<sup>2</sup>, нагруженного грузом массой 5 или 10 кг.

**Образцы для испытаний** должны быть в виде пластин с параллельными плоскостями толщиной не менее 3 мм и линейными размерами более 10 мм. Основания образцов должны быть ровными, гладкими, без трещин и раковин.

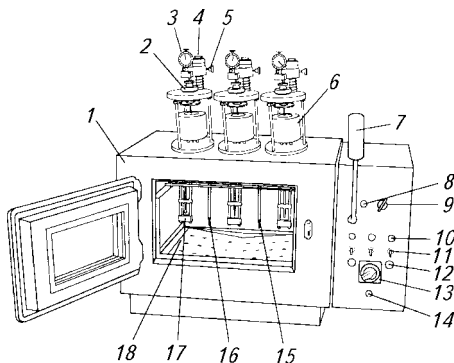
**Описание прибора.** Общий вид прибора для определения температуры размягчения по методу Вика представлен на рис. 6.4. Прибор состоит из термощафа 1, на котором смонтировано измерительное устройство, состоящее из часового индикатора 3, грузов 6, подставки для образцов 18 и штока 17. Опускание и подача штока 17 производится гайкой 2, а установка показаний индикатора на нуль — гайкой 4, которая стопорится винтом 5.

Образец устанавливается на подставку 18 при поднятом штоке 17. Температура измеряется ртутными термометрами 15 и 16. Для управления процессом измерения на термощафу закреплен пульт, на котором установлены выключатель прибора 13 с контрольной лампой включения 14 и предохранителем. На пульте имеются также осветительная лампа 7, ручка настройки регулятора температуры 9 с контрольной лампой 8, а также выключатели светового сигнала 11 и лампы сигнала окончания деформации образца 10.

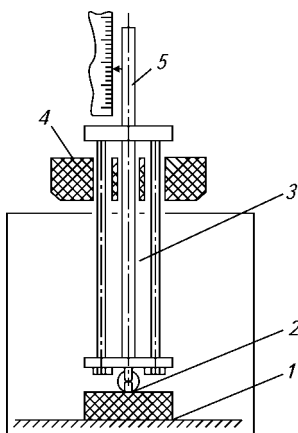
Принцип работы прибора для измерения температуры размягчения по методу Вика показан на рис. 6.5. Образец 1 устанавливается

**Рис. 6.4.** Общий вид прибора для определения температуры размягчения полимеров по методу Вика:

1 — термощаф; 2 — гайка; 3 — часовый индикатор; 4 — гайка для отвода индикатора; 5 — стопорный винт; 6 — груз; 7 — осветительная лампа; 8 — контрольная лампа; 9 — регулятор температуры; 10 — сигнальная лампа окончания деформации образца; 11 — выключатель светового сигнала; 12 — выключатель звукового сигнала; 13 — выключатель прибора; 14 — лампа включения; 15, 16 — ртутные термометры; 17 — шток; 18 — подставка для образца







**Рис. 6.5.** Схема прибора для измерения температуры размягчения по методу Вика:

1 — образец; 2 — индентор; 3 — шток; 4 — груз; 5 — указатель деформации

ется на основание подставки, а затем на него опускается шток 3 с установленным на нем грузом 4. Конец штока соединяется со штоком часового индикатора, с помощью которого измеряется деформация (глубина погружения индентора 2 в образец).

**Проведение испытания.** С помощью гайки 4 индикатор отводят вверх (см. рис. 6.4), а затем гайкой 2 поднимают шток 17 и на подставку 18 устанавливают

образец. Затем опускают шток, а гайкой 4 ставят часовой индикатор 3 в нулевое положение и закрепляют стопорный винт 5. Закрывают дверцу термошкафа и включают прибор выключателем 13, при этом должна загореться лампа 14.

Если контрольная лампа 8 нагревателя (см. рис. 6.4) сразу не загорается, то рукоятку 9 регулятора температуры поворачивают против направления часовой стрелки до тех пор, пока не включится нагрев и не загорится лампа. Тумблером 11 включается сигнал окончания деформации. При достижении определенной температуры, когда материал размягчается, наконечник штока 17 вдавливаются в образец. При вдавливании штока на глубину 1 мм должна автоматически включиться звуковая сигнализация и загореться сигнальная лампа 10. В этот момент по показаниям ртутных термометров 15 и 16 измеряется температура и среднее ее значение записывается в журнал испытаний. После окончания испытаний прибор выключают, а рукоятку 9 осторожно поворачивают по направлению стрелки в исходное положение.

Результаты измерений заносят в табл. 6.1.

**Таблица 6.1.** Результаты определения температуры размягчения по Вика

Номер образца	Температура измерения	Температура размягчения по методу Вика (средняя температура для всех измерений)

## Глава 7

---

### ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

#### 7.1. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ НА ВАЛЬЦАХ

При работе на вальцах существует опасность механического травмирования, поражения электрическим током, получения ожогов.

Работа студентов на вальцах разрешается только после прохождения инструктажа по технике безопасности, ознакомления с устройством машины и в присутствии сотрудника, имеющего разрешение на работу с вальцами.

Приступая к работе нужно проверить состояние рабочего места. Оно должно быть свободным от посторонних предметов. Пол должен быть очищен от грязи, масла и воды, на полу должен быть диэлектрический коврик. Нельзя допускать скопления на рабочем месте излишнего запаса ингредиентов и готовых смесей.

**Работа на неподготовленном месте, на неисправном оборудовании, с неисправными приборами, с неизвестными материалами категорически запрещается!**

Последовательность загрузки ингредиентов материала, их количество, время, температуру смешения и размер зазора между валками следует определить заранее и указать в технологической карте.

Перед работой необходимо проверить наличие и исправность защитных устройств вальцов, следует убедиться в исправности всех частей вальцов, проверить наличие смазки в узлах трения, наличие заземления и действие аварийного выключателя.

**Работа на вальцах с неисправным аварийным выключателем запрещается!**

Запрещается останавливать вальцы аварийным выключателем при их нормальной работе, в этих случаях необходимо пользоваться кнопкой «Стоп».

**На вальцах допускается работать только при включенной приточно-вытяжной вентиляции!**

При загрузке вальцов работающий должен следить за тем, чтобы посторонние предметы не попали между валками, так как это может привести к серьезной аварии машины.

**В случае попадания посторонних предметов в зазор вальцов нельзя извлекать их на ходу, а следует остановить машину с помощью аварийного выключателя и доложить об этом учебному мастеру или преподавателю.**

Срезая смесь, нужно держать нож в вытянутой правой руке ниже средней линии валка, не опираясь при этом левой рукой на станину. Обязательным условием безопасной работы при срезании и перемешивании смеси является правильное положение ножа. При срезании массы по линии выше центра валка нож находится в неустойчивом положении, при этом материал может оказаться непрорезанным; кроме того, возникает опасность захвата руки работающего.

При переходе смеси на задний валок срезание ее на ходу машины допускается только при наличии безопасных условий выполнения данной операции, а именно: чистый пол, достаточная освещенность и исправное аварийное выключение.

При введении порошкообразных ингредиентов в смесь нельзя создавать излишнего пыления (необходимо перекрыть заслонку вытяжной вентиляции); засыпать ингредиенты нужно осторожно, небольшими порциями, равномерно вдоль вращающейся на вальцах смеси, избегая их попадания на поддон.

Работать на вальцах необходимо в спецодежде (халат), застегнутой на все пуговицы и не имеющей развевающихся частей. Длинные волосы работающих должны быть аккуратно прибраны.

**В случае возникновения аварийной ситуации немедленно остановить вальцы и сообщить об этом учебному мастеру или преподавателю!**

По окончании работы нужно остановить вальцы, очистить рабочее место от остатков материала, грязи, убрать ингредиенты и отключить вальцы. С целью предохранения от ожогов при высокой температуре валков (выше 60 °С) во время чистки можно пользоваться хлопчатобумажными перчатками, легко снимающимися с рук. **Во всех остальных случаях работа в перчатках запрещается!**

Обо всех неисправностях, которые были замечены во время работы, немедленно сообщить учебному мастеру или преподавателю.

## **7.2. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ НА ЭКСТРУДЕРЕ**

При работе на экструдере возникает опасность механического травмирования, поражения электрическим током, получения ожогов.

Работа студентов на экструдере разрешается только после прохождения ими инструктажа по технике безопасности, ознакомле-

ния с устройством машины и в присутствии сотрудника, имеющего разрешение на работу с экструдером.

**На экструдере допускается работать только при включенной приточно-вытяжной вентиляции!**

Кроме того, над головками экструдеров при производстве листов и пленок из поливинилхлорида должен быть установлен местный отсос воздуха в виде зонтов.

Работать на экструдере необходимо в спецодежде (халат), застегнутой на все пуговицы и не имеющей развевающихся частей.

Цилиндр и формующая головка экструдера значительно нагреваются, поэтому при соприкосновении с ними возможны тяжелые ожоги. Во избежание этого нагретые части машины должны иметь теплоизоляцию.

Прикосновение к нагретым частям экструдера допускается только в специальных перчатках!

Валки приемно-намоточного, режущего, тянущего и других устройств должны быть снабжены предохранительными приспособлениями, устраняющими возможность захвата рук и одежды работающего.

Приступая к работе, нужно проверить состояние рабочего места. Оно должно быть свободным от посторонних предметов. Пол должен быть очищен от грязи, масла и воды, на полу должен быть диэлектрический коврик.

**Работа на неподготовленном месте, на неисправном оборудовании, с неисправными приборами, с неизвестными материалами категорически запрещается!**

Перед работой необходимо проверить наличие и исправность защитных устройств экструдера, следует убедиться в исправности всех частей экструдера, наличии заземления и проверить действие аварийных выключателей.

При загрузке экструдруемого материала необходимо следить за тем, чтобы в бункер не попали посторонние предметы. Если это произошло, следует немедленно выключить машину и сообщить учебному мастеру или преподавателю.

**Категорически запрещается проталкивать загружаемый материал в цилиндр руками!**

В ходе работы необходимо следить за технологическими параметрами процесса и в случае их отклонения от заданных значений немедленно сообщить учебному мастеру или преподавателю.

По окончании работы необходимо освободить бункер от остатков сырья и прочистить экструдер путем пропускания чистой композиции. При необходимости обесточить машину, провести ее разборку и механическую чистку загрязненных поверхностей с помощью латунных инструментов.

**Во избежание ожогов чистку головки, шнека и материального цилиндра проводить только в специальных рукавицах!**

При чистке шнека необходимо избегать его ударов и падений.

Обо всех неисправностях, которые были замечены во время работы, немедленно сообщить учебному мастеру или преподавателю.

### **7.3. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ НА ЛИТЬЕВОЙ МАШИНЕ**

При работе на литейной машине возможны следующие виды опасностей: поражение электрическим током, травмы конечностей и ожоги.

Работа студентов на литейной машине разрешается только после прохождения ими инструктажа по технике безопасности, ознакомления с устройством машины, ее управлением, устройством подсобного оборудования и в присутствии сотрудника, имеющего разрешение на работу с литейной машиной.

**На литейной машине допускается работать только при включенной приточно-вытяжной вентиляции!**

Кроме того, литейные машины должны быть снабжены местными отсосами в местах выделения вредных веществ.

Работать на литейной машине необходимо в спецодежде (халат), застегнутой на все пуговицы и не имеющей развевающихся частей.

Приступая к работе, нужно проверить состояние рабочего места: оно должно быть свободным от посторонних предметов. Пол должен быть очищен от грязи, масла и воды, на полу должен быть диэлектрический коврик.

**Работа на неподготовленном месте, на неисправном оборудовании, с неисправными приборами, с неизвестными материалами категорически запрещается!**

Литейная машина должна иметь исправные защитные приспособления (ограждения привода редуктора, щитки ограждения, блокировку), исключающие возможность попадания конечностей в работающие узлы и самопроизвольное включение машины.

Перед работой нужно проверить исправность защитных ограждений, блокировки и заземления. При открытом щитке ограждения и неисправной блокировке машина не должна включаться. Запрещается работа на литейной машине при нарушенной изоляции электропроводов питания, электронагревателей материального цилиндра и отсутствии или неисправности заземления (зануления).

Управление литейной машиной должно производиться одним человеком в присутствии учебного мастера или преподавателя.

### **Обслуживание машины вдвоем категорически запрещается!**

Перед работой необходимо проверить давление в системе узла смыкания и впрыска. При повышении давления немедленно выключить литьевую машину и сообщить об этом учебному мастеру или преподавателю.

При загрузке отливаемого материала необходимо следить за тем, чтобы в бункер не попали посторонние предметы. Если это произошло, немедленно выключить машину и сообщить учебному мастеру или преподавателю.

### **Категорически запрещается вручную проверять уровень полимера в бункере и проталкивать загружаемый материал в цилиндр!**

В ходе работы необходимо следить за технологическими параметрами процесса и в случае их отклонения от заданных значений немедленно сообщить учебному мастеру или преподавателю.

Извлечение изделия, литников, а также очистка формы могут производиться только после выключения гидронасоса и перевода машины на ручное управление.

При установке формы необходимо пользоваться приспособлениями, исключающими ее падение.

В случае если в процессе работы обнаружена неисправность литьевой машины, ограждения, системы электропитания, оснастки, немедленно прекратить работу и сообщить учебному мастеру или преподавателю.

## **7.4. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ НА ГИДРАВЛИЧЕСКОМ ПРЕССЕ**

При работе на гидравлическом прессе возможны следующие виды опасностей: поражение электрическим током, травмы конечностей и ожоги.

Работа студентов на гидравлическом прессе разрешается только после прохождения ими инструктажа по технике безопасности, ознакомления с устройством машины, ее управлением, устройством подсобного оборудования и в присутствии сотрудника, имеющего разрешение на работу с гидравлическим прессом.

### **На гидравлическом прессе допускается работать только при включенной приточно-вытяжной вентиляции!**

Кроме того, гидравлические прессы должны быть снабжены местными отсосами коробчатого типа в местах выделения вредных веществ, расположенными с тыльной стороны машины.

Работать на гидравлическом прессе необходимо в спецодежде (халат), застегнутой на все пуговицы и не имеющей развевающихся частей.

Рабочая зона прессов должна быть оснащена защитными ограждениями, заблокированными с пусковым устройством или двух-

кнопочным устройством, исключаящими попадание рук работающего в рабочую зону по ходу пресса. Конструкция зоны выгрузки изделий должна исключать возможность попадания в нее рук работающего при съеме изделия, минуя защитную блокировку.

Гидравлические прессы должны быть оборудованы приспособлениями против самопроизвольного опускания подвижной траверсы под действием собственного веса в случае падения давления в гидросистеме.

Гидравлическая система прессов должна иметь спускной клапан на случай сброса давления.

Приступая к работе, нужно проверить состояние рабочего места: оно должно быть свободным от посторонних предметов. Пол должен быть очищен от грязи, масла и воды, на полу должен быть диэлектрический коврик.

**Работа на неподготовленном месте, на неисправном оборудовании, с неисправными приборами, с неизвестными материалами категорически запрещается!**

Перед работой нужно проверить исправность защитных ограждений, блокировки и заземления. Запрещается работа на гидравлическом прессе при нарушенной изоляции электропроводов питания пресса, электронагревателей пресс-форм и отсутствии или неисправности заземления (зануления).

**Категорически запрещается самостоятельная работа студентов на прессе без преподавателя или учебного мастера!**

Управление прессом и установка пресс-форм должны производиться одним человеком в присутствии сотрудника.

**Обслуживание гидравлического пресса вдвоем категорически запрещается!**

Во избежание ожога рук при работе со съемными пресс-формами, очистке горячих пресс-форм, установке металлической арматуры, извлечении готовой детали, замере температуры плит пресса и пресс-формы и т. д. **необходимо пользоваться специальными рукавицами или перчатками.**

Категорически запрещается производить перестановку пресс-форм, разъемников или очистку пресс-форм во время движения рабочего плунжера пресса. При очистке и установке пресс-форм гидронасос пресса должен быть выключен.

При обнаружении какой-либо неисправности или при несчастном случае (перекос пресс-форм, попадание конечностей работающего под плиты пресса) следует немедленно выключить пресс.

По окончании работ выключить пресс, убрать за собой рабочее место, почистить пресс-форму от остатков материала и сообщить учебному мастеру или преподавателю об окончании работ.

## **7.5. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ НА ВАКУУМ-ФОРМОВОЧНОЙ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКЕ**

При работе на вакуум-формовочной установке возможны поражение электрическим током и ожоги.

К работе на вакуум-формовочной установке допускаются лица, ознакомившиеся с ее устройством и управлением, а также освоившие правила работы с электрическими приборами и требования техники безопасности при работе на установке.

До начала работ необходимо тщательно осмотреть оборудование и убедиться в его исправности.

### **Работа на неисправном оборудовании запрещается!**

Работа студентов на вакуум-формовочной установке должна проводиться под руководством учебного мастера или преподавателя.

Перед работой необходимо проверить исправность заземления (зануления) и выключателей. Запрещается работать на установке при нарушении изоляции электропроводов питания и электронагревателя. При подводе нагревателя лист полимера необходимо поддерживать линейкой или рейкой, но не рукой, так как можно получить ожог.

Подсоединение трубопровода к вакуум-формовочной установке должно осуществляться при помощи специальных воздушных шлангов или шлангов с бронированным покрытием. Для съема изделия в случае его застревания в оснастке на вакуум-формовочной установке необходимо предусмотреть специальное приспособление.

Электронагревательные устройства у вакуум-формовочных машин необходимо устанавливать так, чтобы выдвинутый поддон перекрывал ножи оснастки.

По окончании работ выключить установку, убрать за собой рабочее место и сообщить учебному мастеру или преподавателю об окончании работ.

## **7.6. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ НА КАПИЛЛЯРНОМ ВИСКОЗИМЕТРЕ**

Капиллярный вискозиметр служит для определения реологических свойств полимеров в расплавленном состоянии. Работа на капиллярном вискозиметре связана с использованием электрического обогрева, поэтому необходимо руководствоваться инструкциями по технике безопасности при работе с электрическими приборами.



К работе на вискозиметре допускаются лица, изучившие устройство вискозиметра, методику проведения работы и сдавшие зачет по технике безопасности при работе на вискозиметре и по электробезопасности. В случае нарушения инструкции и техники безопасности студент отстраняется от дальнейшего проведения работы. Недопустима работа на вискозиметре при неисправном электрообогреве.

*До начала работы* осмотреть рабочее место, убрать все посторонние предметы, мешающие нормальной работе. Необходимый инструмент (капилляры, шток для уплотнения расплава, гаечные ключи) укладывается на стол в строгом порядке.

*Во время работы* необходимо следить за порядком на рабочем месте. Зеркальце прибора всегда должно быть чистым. Кроме основного освещения комнаты следует применять дополнительное местное освещение под рабочей камерой. Строго выполнять порядок проведения работы.

*При аварийном состоянии* (при всех замеченных отклонениях от нормальной работы) прибор выключить, обесточить и поставить в известность руководителя или механика кафедры.

*По окончании работы* хорошо прочистить цилиндр вискозиметра и капилляры, убрать рабочее место, инструменты и приспособления, а также сложить в ящик стола неиспользованный полимер.

**Работать на вискозиметре необходимо в халате. Во избежание получения ожогов от соприкосновения с нагретыми частями прибора (при снятии и чистке капилляров) при загрузке полимера следует надеть брезентовые рукавицы. Корпус прибора должен быть заземлен.**

Перед очередным выдавливанием расплава убедитесь в надежном креплении капилляра. После окончания измерений снимите капилляр. При неосторожном проведении эксперимента возможен термический ожог.

В случае возникновения термодеструкции полимеров (ПВХ, полистирола и др.) необходимо работать при включенной вентиляции, а при интенсивном разложении полимера прекратить проведение эксперимента, для чего нужно выключить электрообогрев, снять капилляр и осторожно прочистить шомполом внутреннюю поверхность камеры.

## 7.7. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ НА МАЯТНИКОВОМ КОПРЕ

Механические свойства пластмасс оцениваются при ударном воздействии со скоростью 2—4 м/с на маятниковом копре. Образцы прямоугольного сечения располагаются на опорах и разрушаются под действием свободно падающего маятника с молотом,

вращающегося вокруг горизонтальной оси. Определяют работу, затраченную на разрушение материала, по разности энергии маятника до и после удара по образцу.

*До начала работы* снять защитный чехол с копра, установить с помощью гаечного ключа необходимое для испытания расстояние между опорами (в зависимости от размеров образца). Поместить защитную решетку на равном расстоянии от основания копра и убедиться в отсутствии посторонних предметов в зоне движения ударного молота маятника.

*Во время работы* установить маятник на нужный угол и закрепить его с помощью защелки. После этого опустить маятник (без образца) с помощью защелки и проверить угол вылета маятника по шкале. Затем закрепить маятник в исходном (верхнем) положении, поместить заранее измеренный образец на опоры и освободить маятник. После разрушения образца остановить маятник рукой, перевести в нижнее положение и записать результат со шкалы силоизмерителя.

*По окончании работы* установить маятник в нижнее положение, извлечь разрушенные образцы из-за защитной решетки и закрыть копер чехлом.

Испытания на копре разрешается проводить только при наличии защитного ограждения, ограничивающего зону действия маятника и предохраняющего от удара осколками разрушенных образцов. Испытания следует проводить в халате с застегнутыми рукавами.

При проведении испытаний на маятниковом копре возможно получение механических травм при ударе копра или в результате попадания осколков от образца при разрушении. Поэтому перед освобождением поднятого маятника с помощью защелки необходимо еще раз убедиться в отсутствии в зоне движения молота посторонних предметов и предупредить находящихся рядом людей о начале испытания.

## **7.8. ИНСТРУКЦИЯ ПО ЭЛЕКТРО- БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ В ЛАБОРАТОРИИ**

Электронагревательные приборы необходимо устанавливать только на подставки из огнестойкого материала с соблюдением безопасных расстояний от легковоспламеняющихся материалов.

При включении вилок в розетки и выключении их следует держать только за корпус и сухими руками. Недопустимо дергать и перекручивать электрошнуры. При этом необходимо следить, чтобы вилка и розетка были исправные, сухие и чистые, а на электрошнуры надеты резиновые трубки.

При эксплуатации приборов и электроустановок должен осуществляться постоянный надзор за ними. При обнаружении каких-либо неисправностей необходимо немедленно их отключить и сообщить об этом преподавателю или учебному мастеру.

Пользоваться электроприборами разрешается только от стационарных электросетей с типовыми предохранительными устройствами.

Сборка электросхем и внесение изменений в них должны производиться без напряжения в питающей сети и на расстоянии не менее 0,8 м от водопроводных труб, раковин и прочих металлических заземленных конструкций.

Все металлические части электроустановок и оборудования, которые могут оказаться под напряжением в результате пробоя изоляции, должны быть присоединены к заземляющему устройству. Необходимо тщательно следить за исправностью изоляции проводов и оборудования, а при обнаружении неисправностей сообщать преподавателю или учебному мастеру.

Корпуса электродрелей и других переносных электрических инструментов напряжением свыше 36 В должны быть заземлены. Кроме того, при работе с этими инструментами необходимо пользоваться защитными средствами от поражения током (диэлектрическими ковриками и резиновыми перчатками).

Особая осторожность должна соблюдаться при работе с движковыми реостатами открытого типа. При этом передвижение движка следует производить одной рукой, медленно; второй рукой нельзя прикасаться к частям, находящимся под напряжением.

Проверка наличия-отсутствия напряжения на аппаратуре должна производиться только индикаторами напряжения или специальными контрольными лампами. Судить об отсутствии напряжения по показаниям стационарных приборов запрещается.

При работах с электроприборами и электроустановками запрещается:

- включать в электросеть неисправные приборы и установки;
- допускать перегрузку электропроводов при одновременном включении многих приборов и установок;
- пользоваться электросетью без типовых электрозщитных устройств;
- оставлять без надзора включенные в электросеть приборы и установки;
- обливать водой, кислотами, щелочами и другими жидкостями электрошнуры, вилки и розетки;
- прикасаться влажными руками к приборам, установкам, шнурам, вилкам и розеткам;
- заменять в щитах типовые предохранители самодельными («жучками»).

При эксплуатации сушильных шкафов, термостатов и других электроустановок необходимо руководствоваться специальными инструкциями, прилагаемыми к приборам.

До начала работы все ее участники должны подробно ознакомиться со схемой соединений и сборки, усвоить расположение цепей и элементов схемы, обратив особое внимание на место расположения выключателя со стороны питающей сети. Сборка схемы и внесение изменений в нее должны проводиться с отключенным напряжением (при отключенном рубильнике или выключателе со стороны питающей сети).

Если по ходу работы установки требуется неоднократно включать или отключать ее, то эти операции должны выполняться только одним лицом.

Блокировка безопасности должна быть предусмотрена на дверях, съемных крышках или открывающихся элементах оборудования напряжением 1000 В и выше. Блокировка должна обеспечивать невозможность открытия или снятия крышек, створок и других элементов при наличии напряжения на оборудовании или автоматическое снятие напряжения с оборудования при открывании крышек, створок и т. д.

## **ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ СТУДЕНТОВ К СЕМИНАРСКИМ И ЛАБОРАТОРНЫМ ЗАНЯТИЯМ**

### **К главе 1**

1. Изложите основные понятия реологии. Что такое напряжение сдвига, скорость сдвига, индекс течения, вязкость полимера?
2. Что называют эффективной вязкостью полимера?
3. Как зависит эффективная вязкость от температуры, давления, скорости сдвига?
4. Какими уравнениями описывается течение расплавов полимеров?
5. Укажите взаимосвязь между напряжением и скоростью сдвига.
6. Что называют входным эффектом, когда и где необходимо его учитывать?
7. Чем объясняется изменение вязкости от температуры и давления?
8. Как определяют реологические кривые течения расплавов полимеров?
9. Изложите порядок построения реологических кривых.
10. Опишите устройство прибора для определения текучести термопластов.
11. Опишите методику определения плотности расплавов полимеров.
12. Как и где на практике используются реологические кривые течения расплавов полимеров?
13. Опишите модели, существующие для описания вязкоупругих жидкостей.
14. Чем объяснить аномалию вязкости расплавов полимеров?
15. При каких условиях проявляются тиксотропные и вязкоупругие свойства расплавов полимеров?

## К главе 2

1. Поясните понятие текучести термореактивных материалов. Назовите методы ее определения, их преимущества и недостатки.
2. Опишите устройство и принцип работы прибора для определения текучести термопластов.
3. Назовите факторы, влияющие на текучесть полимеров, и способы регулирования текучести полимеров.
4. Дайте понятие усадки; перечислите виды усадки; дайте определение анизотропии усадки.
5. Поясните зависимость усадки изделий из реактопластов от влажности, температуры, времени выдержки под давлением, типа наполнителя.
6. Поясните влияние технологических параметров изделий из термопластов на усадку литевых изделий.
7. Опишите сущность метода определения расчетной усадки.
8. Охарактеризуйте методику определения времени и скорости отверждения реактопластов.
9. Опишите методику определения времени отверждения при прессовании конусного стаканчика.
10. Изложите устройство и принцип работы пластометра Канавца.
11. Поясните сущность метода определения вязкотекучих свойств и времени отверждения термореактивных материалов на пластометре Канавца.
12. В чем заключается методика расчетов показателей, характеризующих технологические и структурно-механические свойства пресс-материала?
13. Дайте понятия удельного объема и насыпной плотности.
14. Опишите методику определения насыпной плотности формовочного материала.
15. Что такое коэффициент уплотнения? Опишите методику его определения.
16. Дайте понятия гранулометрического состава полимерных материалов, дисперсности и степени дисперсности.

## К главе 3

### *Экструзия*

1. Перечислите технологические параметры процесса экструзии.
2. Какие параметры процесса экструзии влияют на качество экструдата?
3. Как можно регулировать давление в головке?
4. Почему разбухает экструдат?
5. Как регулировать степень ориентации экструдата?
6. Как влияет ориентация на механические и деформационные свойства экструдата?
7. Охарактеризуйте работу зон загрузки, сжатия и дозирования.
8. За счет каких сил происходит движение материала в зоне загрузки экструдата?
9. Как выбрать (рассчитать) технологические параметры процесса экструзии?
10. Как выравнивать поток расплава в формующих головках?

### *Литье термопластов под давлением*

1. Назовите технологические стадии литья под давлением.
2. Охарактеризуйте сущность метода литья под давлением. Какие технологические параметры влияют на процесс литья под давлением?
3. В чем заключается подготовка материала перед литьем под давлением?
4. Опишите цикл формования при литье под давлением.
5. От каких факторов зависит время охлаждения изделия в форме? Как оно определяется?

6. Для чего применяют выдержку под давлением и как определяется время выдержки под давлением?
7. Как влияют отдельные стадии цикла формования на качество готовой продукции?
8. Дайте понятие усадки при литье под давлением. Как зависит усадка от технологических параметров процесса литья под давлением?
9. Почему падает давление в форме при отводе плунжера?
10. Как влияет остаточное давление в форме после охлаждения на изделие?
11. Как можно регулировать структуру полимера в процессе переработки его методом литья под давлением?
12. Какие вы знаете способы выбора технологических параметров процесса литья под давлением?
13. Составьте операционную технологическую карту на изделие «лопатка». Материал — полиэтилен низкой плотности.
14. Какие виды брака возможны при литье под давлением? Назовите причины их появления и возможные пути устранения.
15. В чем заключаются особенности переработки методом литья под давлением полиамидов, полистирола, поликарбонатов?
16. Какие основные узлы литьевой машины вы знаете? Опишите принцип их работы.
17. Из каких основных деталей состоит литьевая форма?
18. Какие типы литьевых форм вы знаете?
19. Приведите методику расчета потерь давления в литниковых каналах формы.
20. Какие свойства детали следует учитывать при выборе термопластавтомата для ее изготовления?
21. Приведите примерный расчет продолжительности цикла литья под давлением.

### *Переработка реактопластов методом прямого прессования*

1. Какие химические процессы протекают при прессовании реактопластов?
2. Как влияют основные технологические параметры процесса прессования (время выдержки под давлением, удельное давление, температура прессования) на качество деталей из пластмасс?
3. Какие способы выбора технологических параметров процесса вы знаете?
4. Как рассчитать удельное давление прессования в зависимости от типа пресс-формы по манометрическому давлению в прессе?
5. Как определяют температуру прессования реактопластов, время выдержки под давлением, удельное давление прессования?
6. Каково назначение подпрессовки? Какие вы знаете подпрессовки?
7. Расскажите об усадке при прессовании. Чем вызваны усадочные явления в термореактивных полимерах?
8. Как зависит усадка при прессовании от температуры, времени выдержки под давлением и других технологических параметров?
9. Какие вы знаете способы уменьшения усадки изделий, полученных прессованием?
10. Какие бывают виды брака при прессовании? Чем они вызваны и каковы способы их устранения?
11. Назовите основные элементы пресс-форм. Перечислите виды и дайте классификацию пресс-форм.
12. Из каких основных узлов состоит пресс? Назовите основные элементы гидравлической системы пресса.
13. Как регулируется усилие пресса?
14. Как регулируется температура процесса прессования?
15. Опишите устройство и принцип действия пластометра Канавца.

16. Назовите виды и поясните назначение предварительного нагрева пресс-материала.
17. В чем заключается нагрев материала токами высокой частоты? Поясните сущность метода, преимущества и области применения.
18. С какой целью применяют таблетирование пресс-материалов?
19. Перечислите области применения литьевого прессования, его преимущества и недостатки.
20. Изложите основные правила техники безопасности при работе на прессе и с пресс-формами.
21. Как составляется технологическая операционная карта процесса прессования? Составьте технологическую карту на изделие «брусок».
22. Как влияет содержание влаги и летучих продуктов на технологические характеристики пресс-материалов и свойства изделий?
23. Перечислите методы определения текучести пресс-материалов.
24. Как влияет технологический режим прессования на физико-механические свойства изделий?
25. Изложите правила техники безопасности при работе на гидравлических прессах.
26. Приведите примерный расчет продолжительности цикла прессования.

#### *Метод вакуумного формования*

1. Опишите сущность процесса вакуум-формования изделий из пластмасс.
2. Какие основные методы формования изделий из листов вы знаете?
3. Какие существуют способы нагрева листовых заготовок?
4. Какие способы вакуум-формования вы знаете? Назовите их преимущества, недостатки, области применения.
5. Как влияют технологические параметры вакуум-формования на свойства изделий?
6. Как влияют технологические параметры вакуум-формования на усадку изделий?
7. Как выбрать метод формования в зависимости от толщины листа?
8. Как выбрать температуру нагрева листа?
9. Опишите устройство и принцип действия вакуум-формовочной машины.
10. Как влияет мощность нагревателя на перепад температур между верхней и нижней поверхностями листовой заготовки?
11. Как рассчитывается усадка? Как она изменяется от степени вытяжки в процессе вакуум-формования?
12. Какие виды брака возможны при вакуум-формовании? Назовите причины появления брака и пути его устранения.

#### **К главе 4**

1. Что называют прочностью полимеров?
2. Какие вы знаете основные характеристики прочности полимеров?
3. В чем отличие прочностных характеристик полимеров от прочностных характеристик традиционных конструкционных материалов (металлов, сплавов)?
4. Опишите кривую зависимости напряжения от деформации для стеклообразных полимеров, дайте характеристику ее отдельных участков.
5. Охарактеризуйте зависимость прочности полимеров от температуры.
6. Какие вы знаете типы кривых деформации полимеров при различных температурах?
7. Какая существует взаимосвязь между напряжением и скоростью деформации?
8. В чем заключается сущность испытания полимеров на долговечность?

9. Опишите прочностные свойства пластмасс при многократных повторяющихся нагрузках.
10. Поясните устройство и принцип действия разрывной машины.
11. Опишите устройство прибора для испытания полимеров на многократный изгиб.
12. Приведите расчет размеров образцов в зависимости от амплитуды при многократном изгибе.
13. В чем заключается методика определения прочности полимеров при растяжении?
14. Что называют относительным, остаточным и абсолютным удлинением?
15. Изложите методику определения прочности материалов при статическом изгибе.
16. Что называют ударной вязкостью, коэффициентом ослабления? На каком приборе измеряются эти параметры?
17. Опишите устройство и принцип работы маятниковых копров.
18. Что называют твердостью полимеров?
19. Опишите устройство и принцип работы твердомеров.
20. Поясните влияние химической природы, молекулярной массы, молекулярно-массового распределения на прочность полимеров.
21. Укажите общие закономерности, определяющие разрушение полимеров.
22. Какие образцы применяются для определения прочности пластмасс при растяжении?
23. Исходя из чего выбирается скорость растяжения образцов?
24. Какие приспособления применяют для испытания пластмасс на статический изгиб?
25. Опишите физико-механические свойства полиэтилена высокой и низкой плотности.
26. Изложите физико-механические свойства полистирола блочного и ударопрочного.
27. Приведите свойства пленочных и листовых материалов из ПВХ, ударопрочного полистирола, полиамидов.

## К главе 5

1. С какой целью проводят измерение электрических свойств пластмасс?
2. Что называют электрическим пробоем изоляции? Как происходит электрический пробой диэлектрика?
3. Чем обусловлен тепловой пробой диэлектрика?
4. Что вы знаете о химической форме пробоя полимера?
5. Как проводят измерения электрической прочности пластмасс?
6. Что такое диэлектрическая проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь диэлектрика?
7. Каким образом величина диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь полимеров связана с их химическим строением?
8. Как определяют тангенс угла диэлектрических потерь и диэлектрическую проницаемость пластмасс (сущность метода, блок-схема, электроды, расчетные формулы)?
9. Что называют фактором диэлектрических потерь? Где и в каких расчетах необходимо значение этой величины?
10. Как определить удельное поверхностное и удельное объемное электрическое сопротивление (сущность метода, образцы, приборы, расчетные формулы)?
11. Поясните прикладное значение измерений электрических сопротивлений. Приведите значения электрического сопротивления пластмасс (поверхностного и объемного).



12. Поясните влияние химического строения и чистоты полимерных диэлектриков на их электрическое сопротивление.

13. Какие приборы применяются для определения диэлектрических свойств пластмасс?

### **К главе 6**

1. Назовите три физических состояния аморфных линейных полимеров. Дайте определения температур стеклования и текучести.

2. Опишите конструкцию прибора для снятия термомеханических кривых.

3. Поясните практическое значение термомеханического метода исследования полимеров.

4. Как влияет молекулярная масса полимеров на температуру их текучести?

5. Что называют теплостойкостью полимеров?

6. Какие способы определения температуры размягчения полимеров вы знаете?

7. Опишите методику определения температуры размягчения по Мартенсу (сущность метода, схема прибора).

8. Опишите методику определения температуры размягчения по Вика (сущность метода, схема прибора).

9. Что называют морозостойкостью полимеров? Какие приборы для определения морозостойкости полимеров вы знаете?

# Приложение

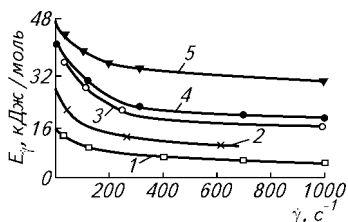
Таблица П. 1. Характеристики начала аномалии вязкости, энергия активации вязкого течения термoplastов E

Термoplast*	Марка, нормативно-техническая документация, страна, фирма-изготовитель	Характеристики начала аномалии вязкости			E, кДж/моль
		температурный интервал, К	напряжение сдвига $\tau$ , Па (с точностью 10–15%)	скорость сдвига $\dot{\gamma}$ , с <sup>-1</sup>	
ПС <sub>бн</sub> ПК	ПСМ, ПСМД (ГОСТ 20282–74) ПК-1, ПК-2, ПК-3 (ТУ 6-05-1668–80); мак-ролон 2400 2600, 2800, 3100, 3200 (ФРГ «Байер»); лексан 100, 120, 130, 140, 150, 160, 940, 2014, LS-2, LS-3 (США, «Дженерал Электрик»); пенлайт L1225, K1250, R1285, K1300 (Япония, «Тейдзин»); юпилон E-1000, E-2000 (Япония, «Мицубиси Гасу Кемикал»); бистан литьевой, экструзионный, СВ (Польша); лексан 151, 112 (США, «Дженерал Электрик»)	463–523 523–527	3 · 10 <sup>2</sup> 8 · 10 <sup>4</sup>	2,5 · 10 <sup>-3</sup> –2 · 10 <sup>-1</sup> 3 · 10 <sup>0</sup> –5 · 10 <sup>2</sup>	118 108
ПММА ПДФ	Остальные ПК Литьевой ЛПП (ТУ 6-05-952–74) Литьевой А (ТУ 6-05-211-939–80); литьевой Р-1700 (США, «Юнион Карбайд») ЭКструзионный Р-3500, кабельный Р-2350 (США, «Юнион Карбайд») СМП (ГОСТ 13077–77) ПЭВП (ГОСТ 16388–77) ПЭНП (ГОСТ 16387–77) 02П, 03П, 04П, 05П, 06П, 07П (ТУ 6-05-1105–78)	523–573 463–553 563–648	8 · 10 <sup>3</sup> 5 · 10 <sup>3</sup> 3,5 · 10 <sup>4</sup>	3 · 10 <sup>-1</sup> –5 · 10 <sup>0</sup> 10 <sup>-1</sup> –4 · 10 <sup>1</sup> 3 · 10 <sup>1</sup> –5 · 10 <sup>2</sup>	111 132 77
СНП ПЭВП ПЭНП ПП	Экструзионный Р-3500, кабельный Р-2350 (США, «Юнион Карбайд») СМП (ГОСТ 13077–77) ПЭВП (ГОСТ 16388–77) ПЭНП (ГОСТ 16387–77) 02П, 03П, 04П, 05П, 06П, 07П (ТУ 6-05-1105–78)	598–648	3,5 · 10 <sup>3</sup>	10 <sup>0</sup> –8 · 10 <sup>0</sup>	75
		463–523 463–523 463–523 453–533	9 · 10 <sup>2</sup> 10 <sup>2</sup> –10 <sup>3</sup> 10 <sup>2</sup> –10 <sup>3</sup> 4 · 10 <sup>2</sup>	1,5 · 10 <sup>-2</sup> –5,6 · 10 <sup>-1</sup> 10 <sup>-3</sup> –10 <sup>0</sup> 10 <sup>-3</sup> –10 <sup>0</sup> 2 · 10 <sup>-3</sup> –10 <sup>0</sup>	98 35 56 44

Термопласт*	Марка, нормативно-техническая документация, страна, фирма-изготовитель	Характеристики начала аномалии вязкости			E, кДж/моль
		температурный интервал, К	напряжение сдвига τ, Па (с точностью 10—15%)	скорость сдвига γ̇, с <sup>-1</sup>	
ПА-12	ПА-12-10, ПА-12-20 (ОСТ 6-05-425-76); вестаид L-1600, Л-1700 (ФРГ, «Хольц»)»	483—553	4,5 · 10 <sup>3</sup>	4 · 10 <sup>-1</sup> —2 · 10 <sup>1</sup>	63
ПА-610	ПА-610 (ГОСТ 10589—73); ультрамид S3R (ФРГ, «Басф»)»	483—553 508—553	4 · 10 <sup>3</sup> 5 · 10 <sup>2</sup>	4 · 10 <sup>0</sup> —7 · 10 <sup>1</sup> 10 <sup>0</sup> —2 · 10 <sup>1</sup>	62 47
ПА-6	ПА-6-110, ПА-6-210/310 (ОСТ 6-06-С9—76); ВЗК, ВЗС (ФРГ, «Зиглинг»); R-40 (Швейцария, «Ледер»)»	508—553 508—553	6 · 10 <sup>3</sup> 4,5 · 10 <sup>4</sup>	2 · 10 <sup>0</sup> —5 · 10 <sup>0</sup> 3 · 10 <sup>1</sup> —4 · 10 <sup>2</sup>	47 48
ПА-66	1022Д (Япония, «Ибе»)» Литъевой (ОСТ 6-06-С23—79); А-216 (Франция, «Рон-Пуленк»); ПА66-М (ТУ 6-05-211-1048—76)	508—553 538—558 538—558	7 · 10 <sup>4</sup> 1,2 · 10 <sup>4</sup> 6 · 10 <sup>3</sup>	6 · 10 <sup>1</sup> —10 <sup>2</sup> 3 · 10 <sup>1</sup> —2 · 10 <sup>2</sup> 3 · 10 <sup>1</sup> —2 · 10 <sup>1</sup>	44 121 —
ПА-12/6/66	(ТУ 6-05-211-720—78)	453—523	3 · 10 <sup>3</sup>	7 · 10 <sup>-1</sup> —2 · 10 <sup>1</sup>	64
ПА-12АПН	А, Б (ТУ 6-05-211-784—77)	473—553	5 · 10 <sup>3</sup>	5 · 10 <sup>0</sup> —2 · 10 <sup>2</sup>	64
СТД	СТД-А, СТД-Б, СТД-В, СТД-Г, СТД-Д (ТУ 6-05-1543—79) Хостаформ С27021, С13021, С9021, С2521 (ФРГ, «Хехст»)»	458—493 458—493	6 · 10 <sup>3</sup> 3,5 · 10 <sup>4</sup>	1 · 10 <sup>0</sup> —2 · 10 <sup>1</sup> 6 · 10 <sup>0</sup> —1,4 · 10 <sup>2</sup>	29 34
ПФ	Делрин 100, 500, 8020, 8010 (США, «Дюпон»)»	458—493	1,4 · 10 <sup>3</sup>	1,5 · 10 <sup>-1</sup> —3 · 10 <sup>0</sup>	32
ПЭТФ	А, Б (ТУ 6-06-415—73)	538—558	1,4 · 10 <sup>4</sup>	7 · 10 <sup>-1</sup> —1,1 · 10 <sup>2</sup>	108
ПБТФ	Ультрадул KR-4000 (ФРГ, «Басф»)»	508—528	302 · 10 <sup>4</sup>	2 · 10 <sup>1</sup> —9 · 10 <sup>1</sup>	101

\* ПС<sub>60</sub> — полистирол блочный; ПК — поликарбонат; ПММА — полиметилметакрилат; ПСФ — полисульфон; СМП — продукт совмещения сополимера стирола с акрилонитрилом и акрилонитрилбутадиенового каучука; ПЭВП — полиэтилен высокой плотности; ПЭНП — полиэтилен низкой плотности; ПП — полипропилен; ПА — полиамид; СТД — сополимер триоксана с диоксоланом; ПФ — полиформальдегид; ПЭТФ — полиэтилентерефталат; ПБТФ — полибутилентерефталат.

Дополнение к табл. П.1



**Зависимость энергии активации от скорости сдвига для расплавов полимеров:**

1 — полиэтилен высокой плотности;  
2 — полиэтилен низкой плотности;  
3 — поливинилхлорид пластифицированный;  
4 — полипропилен; 5 — блочный полистирол

**Таблица П.2. Показатель текучести различных марок полиэтилена**

Марка	Показатель текучести, г/10 мин
ПЭНП 153 03-003	0,21—0,39
ПЭНП 104 03-003	0,21—0,38
ПЭНП 105 03-004	0,32—0,48
ПЭНП 106 03-007	0,56—0,84
ПЭНП 108 02-020	1,7—2,3
ПЭНП 158 02-020	1,7—2,3
ПЭВП 201 06-001	ε 0,1
ПЭВП 202 06-002	0,1—0,3
ПЭВП 203 06-005	0,3—0,6
ПЭВП 204 06-007	0,5—0,9
ПЭВП 206 06—012	0,5—1,5
ПЭВП 203 06-040	3,0—5,0

**Таблица П.3. Температура текучести некоторых полимеров**

Полимер	Температура текучести, °С
Полиэтилен низкой плотности	110
Полиэтилен высокой плотности	130
Полистирол	130
Ударопрочный полистирол	130
Полиамид	215
Полипропилен	155

**Таблица П.4. Зависимость плотности полиэтилена от температуры**

Марка полиэтилена	$\rho \cdot 10^3$ , кг/см <sup>3</sup> , при $T$ , °С								
	40	60	80	100	120	140	160	180	200
ПЭВП 209 06-040	0,99	0,935	0,92	0,91	0,86	0,835	0,828	0,82	0,810
ПЭВП 206 06-012	0,935	0,930	0,92	0,905	0,840	0,81	0,8	0,79	0,78
ПЭНП 177 02-010	0,92	0,915	0,91	0,895	0,86	0,83	0,82	0,81	0,80
ПЭНП 158 02-020	0,905	0,895	0,905	0,865	0,840	0,825	0,805	0,765	0,735

**Таблица П.5. Температура формы при литье различных полимеров**

Полимеры	Температура формы $T_{\text{ф}}^{\circ}\text{C}$	
	$T_{\text{ф}}(\text{min})$	$T_{\text{ф}}(\text{max})$
Полипропилен	30	85
Полиэтилентерефталат	140	190
Полиамид П-6	70	120
Полиамид П-6-6	70	120
Полиэтилен высокой плотности	40	60

**Таблица П.6. Таблица значений коэффициентов уравнения (3.10) для различных полимеров**

Полимер	$M$ , кг/моль	$P$ , МПа	$\frac{1}{\rho_p}$ , м <sup>3</sup> /кг
Полистирол	0,104	180	0,000822
Полиэтилен низкой плотности	0,0281	320	0,000875
Полиэтилен высокой плотности	0,0281	295	0,000875
Полиамид П-6, П-10	0,0027	1078,6	0,000738
Полипропилен	0,041	160	0,000620

**Таблица П.7. Теплофизические свойства реактопластов**

Пресс-материал	Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности $\lambda \cdot 10^2$ , Вт/(м · К)	Удельная теплоемкость $C$ , кДж/(кг · К)	Коэффициент температуропроводности $a \cdot 10^7$ , м <sup>2</sup> /с
Фенопласты:				
01-040-02	1000—1100	18,6—23,3	1,47	1,40
03-010-02	1000—1100	18,6—23,3	1,47	1,40
Эпоксидные смолы:				
Э2-330-02	1000—1100	16,8—18,6	1,47	1,40
Э3-340-65	1000—1100	16,3—18,6	1,47	1,40
Аминопласт	1000—1100	11,6—23,3	1,26—1,67	1,11
Стеклопластики:				
АГ-4В	850—1000	20,9—23,3	1,17—1,341	1,94—2,08
АГ-4С				

**Таблица П.8. Константы скорости отверждения  $K_c$  пресс-материалов на основе фенолоформальдегидных смол\***

Пресс-материал	$K_c \cdot 10^3$ , с <sup>-1</sup>			$E$ , кДж/моль
	150°C	170°C	190°C	
03-010-02	6,6	12,5	21	47,8
АГ-42	4,3	10,1	27	76,3
ДСВ-2р-2М	3,5	8,1	15	64,1
Э2-330-62	2,7	4,3	6,6	36,5
Э3-240-65	1,7	2,5	3,4	26,8

\*Теплота реакции поликонденсации этих пресс-материалов  $Q_p = (32 \dots 48)$  кДж/кг.

**Таблица П.9. Значения коэффициентов для уравнений (3.33) и (3.34)**

Пресс-материал	$t_{н.п.}, c$	$\beta, 1/c$	$T_{п}, ^\circ C$	Время отверждения, $t_{н.п.}, c$	
				по ГОСТ 15882—70	по данным пластометра Канавца при нагрузке 6 МПа
01-040-02	19	0,032	170	130	140
К-17-2	19	0,03	170	90	160
03-010-02	19	0,03	170	80	130—180
Э1-340-02	19	0,02	170	160	720
Аминопласт	10	0,028	140	130	160
К-79-79	100	0,032	140	210	—

**Таблица П.10. Значения коэффициента  $A$ , учитывающего химическую природу материала и энергии активации реакции поликонденсации  $E_a$  для некоторых марок пресс-материалов в уравнении (3.25)**

Пресс-материал	$A \cdot 10^7$	$E, \text{кДж/моль}$
03-010-02	1,77	60,5
01-040-02	1,9	69,6
Э3-340-65	7,4	62,8
К-17-2	4,52	9,5

**Таблица П.11. Технологические режимы прямого и литьевого прессования пресс-материалов**

Пресс-материал	Температура предварительного подогрева, $^\circ C$	Температура прессования, $^\circ C$	
		без подогрева	с подогревом
01-040-02, 03-010-02, 01-030	130—170	155 ± 5	185 ± 5
Э2-330-02	80—100	155 ± 5	160 ± 5
У4-080-02	120—130	150 ± 5	175 ± 5
Сп1-342-02	150—160	155 ± 5	185 ± 5
04-010-12	—	—	180 ± 5
Сп3-342-02	150	165 ± 5	185 ± 5
Э3-340-65	130—140	155 ± 5	180 ± 10
Э3-340-61	130—140	175 ± 5	185 ± 5
К-114-35	165	185	170 ± 5
В-4-70	150—160	165 ± 5	165 ± 5
К-123-34 (ОФПМ-296)	—	185 ± 5	—
Э6-014-30	150—160	—	160 ± 10
К214-52	—	165 ± 5	—
Ж1-010-60	150—160	155 ± 5	155 ± 5
Ж2-040-60, Ж2-010-60	150—160	155 ± 5	155 ± 5
Э9-342-73, Э10-342-63	150—160	165 ± 5	165 ± 5
У1-301-07, У2-301-07	—	150 ± 5	160 ± 5

Продолжение

Пресс-материал	Температура предварительного подогрева, °С	Температура прессования, °С	
		без подогрева	с подогревом
У5-301-41	110—120	170 ± 5	175 ± 5
Ф6-337-67	—	155 ± 5	160 ± 5
Текстолит-крошка	100—110	150 ± 5	—
КФ-3, КФ-3Г	110—130	175 ± 5	180 ± 5
Аминопласт	90—100	155 ± 5	160 ± 5
К-78-51, К-77-51	105 ± 5	165 ± 5	175 ± 5
КМК-9	—	165 ± 5	—
КМК-218А, КМК-218Б	100—110	155 ± 5	155 ± 5
КМК-218Л	100—110	150 ± 5	160 ± 5
КПЖ-9	100—110	155 ± 5	155 ± 5
КМС-9	—	165 ± 5	—
КВЧ-9	120—125	—	145 ± 5
КФ-10	150	—	145 ± 5
ПК-9А, ПК-95	—	140 ± 5	—
АГ-4В, АГ-4С	120—130	145 ± 5	145 ± 5
ВПМ-1	—	160 ± 10	170 ± 10
ВПМ-3, ВПМ-3П	160	—	185 ± 10

Таблица П.12. Температурные характеристики термопластов и реактопластов

Материал	Предел рабочей температуры, °С		Температура размягчения по Вика, °С	Теплостойкость по Мартенсу, °С	Температура плавления, °С
	верхний	нижний			
ПЭНД	60—70	—(120 , 45)	80—90	—	100—108
ПЭВД	70—80	—(150 , 60)	125—128	—	120—135
ПП	95—110	—(50 , 5)	—	—	160—168
ПВХ	60—95	—(20 , 10)	70—85	65—70	—
ПС	65—70	—40	82—105	70—80	160—175
АБС-пластик	75—85	—60	44—50	30—32	165—180
ПА-6	60	—60	190—200	75—76	221—223
ПА-66	80—120	—30	220—240	65—70	254—263
ПК	115—135	—120	145—160	90	165—172
Фенопласты	66—120	—(60 , 40)	—	125—250	—
Аминопласты	80—130	—(180 , 40)	—	95—200	—

## Литература

---

1. *Бортников В. Г.* Производство изделий из пластмасс. — Казань: Дом печати, 2001. — 246 с.
2. *Бортников В. Г.* Основы технологии переработки пластических масс. — Л.: Химия, 1989. — 304 с.
3. *Шварц О., Эблинг Ф.-В., Фурт Б.* Переработка пластмасс: Пер. с нем. / Под ред. А. Ю. Панيماتченко. — СПб.: Профессия, 2005. — 315 с.
4. *Освальд Т., Тунг Л.-Ш., Грэмани П. Дж.* Литье пластмасс под давлением: Пер. с нем. / Под ред. Э. Л. Калиничева. — СПб.: Профессия, 2006. — 707 с.
5. *Основы технологии переработки пластмасс*/С. В. Власов, Л. Б. Кандырин, В. Н. Кулезнев и др.; под ред. В. Н. Кулезнева и В. К. Гусева. — М.: Химия, 2004. — 596 с.
6. *Торнер Р. В.* Теоретические основы переработки полимеров. — М.: Химия, 1979. — 246 с.
7. *Гуль В. Е., Акутин М. С.* Основы переработки полимеров. — М.: Химия, 1985. — 223 с.
8. *Бернхардт Э.* Переработка термопластичных материалов: Пер. с англ. / Под ред. Г. В. Виноградова. — М.: Химия, 1962. — 348 с.
9. *Лапишин В. В.* Основы переработки термопластов литьем под давлением. — М.: Химия, 1977. — 216 с.
10. *Крыжановский В. К., Бурлов В. В.* Прикладная физика полимерных материалов. — СПб.: Изд-во СПбГТИ(ГУ), 2001. — 261 с.
11. *Практикум по технологии переработки пластических масс* / Под ред. В. М. Виноградова и Г. С. Головкина. — М.: Химия, 1980. — 238 с.
12. *Глухов Е. Е.* Основные понятия о конструкционных и технологических свойствах пластмасс. — М.: Химия, 1970. — 128 с.
13. *Гурова Т. А.* Технический контроль производства пластмасс и изделий из них. — М.: Высшая школа, 1991. — 255 с.
14. *Богданов В. В.* Методы исследования технологических свойств пластмасс. — Л.: ЛГУ, 1978. — 174 с.

### Справочная литература

1. *Справочник по пластическим массам.* Изд. 2-е, перераб. и доп. В 2-х т. Т. 1/ Под ред. В. М. Катаева, В. А. Попова, Б. И. Сажина. — М.: Химия, 1975. — 568 с.
2. *Калинчев Э. Л., Саковцева М. Б.* Свойства и переработка термопластов: Справ. пособие. — Л.: Химия, 1983. — 288 с.
3. *Справочник по технологии изделий из пластмасс* / Под ред. Г. В. Сагалаева, В. В. Абрамова, В. Н. Кулезнева, С. В. Власова. — М.: Химия, 2000. — 424 с.
4. *Базансий С. Г., Клецевман М. Л., Файнштейн Е. Б.* Изделия из пластмасс: Справочное руководство по выбору, применению и переработке. — М.: Радиопласт, 1992. — 201 с.



Учебное издание

**Садова Алевтина Николаевна,  
Бортников Владимир Герасимович,  
Заикин Александр Евгеньевич,  
Абзальдинов Хайдар Сафович,  
Архиреев Вячеслав Петрович**

**ПРАКТИКУМ ПО ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ  
И ИСПЫТАНИЯМ ПОЛИМЕРОВ  
И КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Учебное пособие для вузов

Художественный редактор *В. А. Чуракова*  
Компьютерная верстка *Т. Я. Белобородовой*  
Компьютерная графика *С. В. Иванова*  
Корректор *И. Н. Волкова*

Сдано в набор 21.04.10. Подписано в печать 27.06.11.  
Формат 60×88 1/16. Бумага офсетная. Гарнитура Ньютон.  
Печать офсетная. Усл. печ. л. 11,76. Изд. № 044.  
Тираж экз. (1-й завод: 1—500 экз.). Заказ

ООО «Издательство «КолосС», 101000, Москва, ул. Мясницкая, д. 17.  
Почтовый адрес: 129090, Москва, Астраханский пер., д. 8.  
Тел. (495) 680-99-86, тел./факс (495) 680-14-63, e-mail: sales@koloss.ru,  
наш сайт: www.koloss.ru

Отпечатано с готовых диапозитивов в ООО  
«Марийское Рекламно-издательское полиграфическое предприятие».  
424020, г. Йошкар-Ола, ул. Машиностроителей, 8 г.  
Тел. (8362) 42-38-52, 42-24-72.  
e-mail: marketing@mripp.net

ISBN 978-5-9532-0745-4



9 785953 207454