

Е. А. БРАЦЫХИН
С. С. МИНДЛИН
К. Н. СТРЕЛЬЦОВ

Переработка
ПЛАСТИЧЕСКИХ
МАСС
в изделия



1966

«ХИМИЯ»

ПЕРЕРАБОТКА ПЛАСТИЧЕСКИХ МАСС В ИЗДЕЛИЯ

Под общей редакцией Е. А. БРАЦЫХИНА

*Допущено Министерством высшего и среднего
специального образования СССР
в качестве учебного пособия
для химических техникумов*

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ХИМИЯ»
Москва • 1966 • Ленинград

Учебник по переработке пластических масс выпускается в связи с необходимостью подготовки большого числа специалистов для этой быстро развивающейся отрасли промышленности. В учебнике рассматриваются теоретические основы переработки пластических масс в изделия с учетом современных представлений о структуре и свойствах полимеров, технология переработки пластических масс и применяемое оборудование, основы конструирования изделий из пластмасс; приводятся важнейшие сведения по технике безопасности процессов.

Учебник предназначен для учащихся специализированных техникумов и может служить руководством для инженерно-технических работников, занимающихся переработкой пластических масс.

**СООТНОШЕНИЕ ЕДИНИЦ МЕЖДУНАРОДНОЙ СИСТЕМЫ (СИ)
С ЕДИНИЦАМИ ДРУГИХ СИСТЕМ, ИСПОЛЬЗОВАННЫМИ В КНИГЕ**

Величина	Единица измерения		Переводные коэффициенты в единицы СИ
	СИ	другие системы	
Вязкости коэффициент динамический	$\text{н} \cdot \text{сек}/\text{м}^2$	пз спз $\text{кгс} \cdot \text{сек}/\text{м}^2$	$0,1 \text{ н} \cdot \text{сек}/\text{м}^2$ $0,001 \text{ н} \cdot \text{сек}/\text{м}^2$ $9,80665 \text{ н} \cdot \text{сек}/\text{м}^2$
Вязкости коэффициент кинематический	$\text{м}^2/\text{сек}$	ст сст	$10^{-4} \text{ м}^2/\text{сек}$ $10^{-6} \text{ м}^2/\text{сек}$
Давление, напряжение	$\text{н}/\text{м}^2$	$\text{кгс}/\text{см}^2, \text{ ат}$ мм рт. ст. мм вод. ст.	$9,80665 \cdot 10^4 \text{ н}/\text{м}^2$ $133,322 \text{ н}/\text{м}^2$ $9,80665 \text{ н}/\text{м}^2$
Мощность, тепловой поток	вт	$\text{кгс} \cdot \text{м}/\text{сек}$ л. с. $\text{ккал}/\text{ч}$ $\text{кал}/\text{сек}$	$9,80665 \text{ вт}$ $735,499 \text{ вт}$ $1,163 \text{ вт}$ $4,1868 \text{ вт}$
Плотность	$\text{кг}/\text{м}^3$	$\text{г}/\text{см}^3$	$10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$
Работа, энергия, количество теплоты	дж	$\text{квт} \cdot \text{ч}$ $\text{л. с.} \cdot \text{ч}$ кал ккал	$3,6 \cdot 10^6 \text{ дж}$ $2,64780 \cdot 10^6 \text{ дж}$ $4,1868 \text{ дж}$ $4,1868 \cdot 10^3 \text{ дж}$
Сила (в том числе сила тяжести)	н	дин кгс	10^{-5} н $9,80665 \text{ н}$
Температуропроводности коэффициент	$\text{м}^2/\text{сек}$	$\text{м}^2/\text{ч}$	$0,278 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{сек}$
Теплоемкость удельная	$\text{дж}/(\text{кг} \cdot \text{град})$	$\text{кал}/(\text{кг} \cdot \text{град})$	$4,1868 \text{ дж}/(\text{кг} \cdot \text{град})$
Теплопередачи коэффициент	$\text{вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$	$\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град})$	$1,163 \text{ вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$
Теплопроводности коэффициент	$\text{вт}/(\text{м} \cdot \text{град})$	$\text{ккал}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{град})$	$1,163 \text{ вт}/(\text{м} \cdot \text{град})$

ПРЕДИСЛОВИЕ

Директивами XXIII съезда КПСС по пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР на 1966—1970 годы предусмотрено на 1970 г. производство пластических масс и синтетических смол в объеме 2100—2300 тыс. тонн, улучшение их качества и расширение выпуска прогрессивных видов полимерных материалов. Особо указывается на необходимость создания в химической промышленности и в отраслях, применяющих в большом количестве изделия из пластических масс, достаточных мощностей по переработке полимерных материалов в изделия для нужд народного хозяйства и бытового потребления.

Высокие темпы развития промышленности пластических масс обусловлены:

- 1) сочетанием в одном материале многих ценных технических качеств;
- 2) доступностью сырья, используемого для синтеза полимерных материалов;
- 3) возможностью синтезировать полимеры с комплексом заранее заданных свойств;
- 4) легкостью переработки полимерных материалов в изделия при небольших трудовых затратах.

Создание полимеров с ценными техническими свойствами сделало их применение незаменимым в определенных областях техники, так например, нельзя представить производство радиолокационной аппаратуры без полиэтилена или создание малогабаритной радиоэлектронной аппаратуры без печатных схем.

В настоящее время 85—90% всего выпуска пластических масс используется в качестве заменителей металлов и лишь 10—15% в областях, где пластические массы являются незаменимыми; в 1970 г. применение пластических масс в этих областях увеличится до 30—35% от всего выпуска этих материалов.

В промышленности сейчас нет четких организационных границ между предприятиями, занятыми синтезом полимеров, производством пластических масс и производством изделий из них. Однако процессы и оборудование, используемые в перечисленных группах производств, существенно отличаются между собой, поэтому в дальнейшем необходима их специализация соответственно характеру производства.

Между синтезом полимерных материалов и производством пластических масс легко провести границу; значительно труднее

строго разграничить производство пластических масс и производство изделий из них. К производству пластических масс должны быть отнесены процессы смешения полимеров с различными компонентами (пластификаторами, наполнителями, стабилизаторами, смазками и другими ингредиентами); в таких процессах используются всевозможные смесители легкого и тяжелого типов, вальцы, аппараты типа ко-кнетеров и микструдеров, а также всевозможные гранулирующие устройства, причем конечными продуктами являются материалы, главным образом в виде порошка или гранул. Эти пластические массы являются исходным сырьем в производстве изделий, которые получают следующими основными методами: прессованием, литьем под давлением, выдавливанием (экструзией), формованием из листов, пневмо- и вакуумформованием, каландрированием, спеканием, сваркой, склеиванием и механической обработкой (давлением и резанием).

Необходимо еще раз подчеркнуть, что предлагаемое деление является условным, особенно при существующей структуре промышленности пластических масс, но дальнейшее ее развитие неизбежно повлечет за собой специализацию производства полимеров, пластмасс и изделий из них.

Настоящий учебный курс охватывает процессы переработки пластических масс в изделия. Для успешного усвоения материала ему должно предшествовать изучение технологии пластических масс.

В данном учебнике предисловие, введение, главы I (раздел «Реология расплавов полимеров»), V, VII (раздел «Штампование»), X, XII (использованы также материалы К. Н. Стрельцова) и XIV написаны С. С. Миндлиным, главы I, II, III, IV, VI, VIII, IX, XI и XIII — Е. А. Брацыхиным, глава VII написана Е. А. Брацыхиным и К. Н. Стрельцовым. Общая редакция осуществлена Е. А. Брацыхиным.

Авторы с благодарностью примут все замечания и пожелания читателей.

ВВЕДЕНИЕ

Большое значение физико-химических явлений в процессах переработки пластических масс в изделия делает необходимым начать настоящий курс с краткого изложения основ физики и химии полимеров.

Многочисленные процессы переработки полимерных материалов в изделия часто объединяются в группы, характеризующиеся, главным образом, родом применяемого оборудования: 1) прессование; 2) литье под давлением; 3) выдавливание (экструзия); 4) формование; 5) механическая обработка; 6) намотка; 7) каландрирование. Подобная классификация не вскрывает физической сущности процессов.

Представляется целесообразным с некоторыми условностями построить классификацию методов переработки полимерных материалов в изделия в соответствии с физическим состоянием полимерных материалов на стадии образования изделий и физической характеристикой процесса. В пределах устанавливаемых классов деление на группы может быть выполнено по процессам, характеризующимся родом применяемого оборудования. Полагаем, что подобная систематизация материала облегчит усвоение учебного курса по переработке пластических масс в изделия.

Предлагается следующая классификация методов переработки пластмасс.

1. ПЕРЕРАБОТКА В ВЯЗКОТЕКУЧЕМ СОСТОЯНИИ

Подавляющее количество полимерных материалов перерабатывается в изделия в вязкотекучем состоянии после превращения в расплавы, которое совершается под действием тепла.

Этот класс методов переработки объединяет следующие основные процессы:

- 1) прессование;
- 2) литье под давлением;

- 3) выдавливание (экструзия);
- 4) каландрирование.

Во всех перечисленных процессах изделия оформляются под действием тепла и давления. Самые высокие давления необходимы при литье под давлением; прессование и выдавливание могут быть выполнены при более низких давлениях.

II. ПЕРЕРАБОТКА В ВЫСОКОЭЛАСТИЧЕСКОМ СОСТОЯНИИ

Широкое распространение получили методы производства изделий из листовых материалов. Формование изделий в этих процессах осуществляется из листов, находящихся в высокоэластическом состоянии, переход в которое происходит под действием тепла.

К названному классу могут быть отнесены следующие процессы:

- 1) пневматические методы переработки: а) вакуумформование, б) формование сжатым воздухом;
- 2) штампование (формоизменяющая штамповка);
- 3) комбинированное формование (сочетание названных методов).

Формование нагретого листа в изделие производится под действием давления. Температура нагрева материала во всех перечисленных процессах ниже, чем в процессах предшествующего класса; давления, используемые при формовании листов в высокоэластическом состоянии, зависят от природы и толщины материала, но они в 10—100 раз ниже, чем в процессах I класса.

III. ПЕРЕРАБОТКА В ТВЕРДОМ СОСТОЯНИИ

В отличие от двух описанных классов, в этих процессах изделия получают на холоду или при незначительном нагревании, причем структура полимеров сохраняется, независимо от того, какой полимер подвергается переработке — кристаллический или аморфный (стеклообразный).

К этому классу могут быть отнесены:

- 1) разделительная штамповка;
- 2) обработка резанием.

Разделительной штамповкой получают изделия из листовых и слонстых пластиков, воздействием практически только давления, иногда применяется незначительный подогрев материала.

В процессах второй группы превращение заготовок (плиты, стержни, блоки и др.) в изделия происходит при помощи резания, со снятием стружки.

IV. ПРОИЗВОДСТВО ИЗДЕЛИЙ ИЗ ЖИДКИХ ПОЛИМЕРОВ

В некоторых процессах производства изделий полимерные материалы при комнатных температурах находятся в жидком, текучем состоянии. Этот класс методов переработки объединяет следующие процессы:

- 1) производство объемных изделий из стеклопластиков;
- 2) производство изделий из полимерно-мономерных смесей.

Формование изделий в этих процессах протекает без нагрева или с незначительным подогревом, без давления или под небольшим давлением.

Многообразие методов производства изделий из стеклопластиков и особенности оборудования, используемого в этих процессах, делают целесообразным объединение всех методов изготовления изделий из стеклопластиков в самостоятельную группу.

V. ПЕРЕРАБОТКА СПЕКАНИЕМ

Целая группа процессов переработки полимерных материалов характеризуется тем, что монолитные изделия в этих процессах образуются путем спекания порошкообразных полимеров.

Этот класс объединяет следующие процессы:

1. Производство изделий из порошков в динамическом состоянии (иногда называемое центробежным литьем); этим методом получают трубы больших диаметров из полиэтилена.
2. Производство изделий из порошков в статическом состоянии: изделий из полиэтилена методом Энгеля, производство мипластовых сепараторов и некоторых типов пенопластов.
3. Напыление порошкообразных полимеров.

К этому же классу относится переработка фторлона-4, которая состоит из двух основных стадий: формования таблеток разной

формы на холоду под давлением и спекания сформованных таблеток в изделия.

При получении изделий сложной конфигурации динамическими методами форму заполняют порошкообразным полимером и вращают в зависимости от конфигурации изделия в одном или нескольких направлениях, чтобы равномерно распределить порошок по всему периметру изделия и получить при этом изделия с возможно более равномерной толщиной стенок.

Статический метод обычно применяется для получения изделий больших размеров, при этом форму заполняют порошком и нагревают, порошок оплавляється, образуя монолит, конфигурация которого соответствует форме.

Напыление полимеров можно производить несколькими методами (вихревым, вибрационным, газопламенным и др.), из которых наибольшее распространение получил вихревой.

В последнее время начали применяться подшипники скольжения, втулки, направляющие и другие детали трущихся устройств, изготовленные из металлов, покрытых слоем полимеров; обычно для этих целей используется порошкообразный капрон.

Ввиду того, что пенопласты получают не только спеканием, но и другими, характерными только для них методами, целесообразно объединить все методы производства пенопластов в самостоятельный класс.

VI. СВАРКА И СКЛЕИВАНИЕ

В очень многих случаях приходится соединять между собой отдельные детали, изготовленные из пластических масс, с помощью сварки и склеивания.

Сварка происходит при контакте поверхностей полимерных материалов, нагретых до состояния расплава в результате диффузионных процессов в зоне контакта этих поверхностей.

Склеивание производится растворами полимерных веществ или клеящими пленками, при этом нет нужды нагревать склеиваемые поверхности полимерных материалов до состояния расплава.

Все полимерные материалы делятся на две большие группы: термопласты и реактопласты, существенно различающиеся по методам переработки. Известно, что переработка реактопластов осу-

ществляется, главным образом, прессованием, однако в настоящее время успешно осваивается и переработка реактопластов литьем под давлением. При переработке термопластов используются, в первую очередь, методы выдавливания (экструзии), литья под давлением, вакуумформования и каландрирования. Из них особенно большое значение (судя по количеству перерабатываемых этим методом материалов) приобретает выдавливание. Этим методом перерабатывается около 75% полиэтилена, большие количества полистирола, полихлорвинила и других термопластов.

Представление о перспективном значении основных методов переработки пластмасс легко получить по соотношению объемов выпуска в СССР реактопластов и термопластов. В 1960 г. на долю термопластов приходилось всего 16% от выпуска пластических масс, в 1965 г. их доля возросла до 30%, а в 1970 г. она будет равна 45—50%; за этот же промежуток времени выпуск фенольных и карбамидных пластиков снизится с 65—67 до 25%. Приведенные цифры убедительно свидетельствуют о прогрессирующем значении основных методов переработки термопластов и, в первую очередь, методов выдавливания и литья под давлением.

ОСНОВНЫЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ВЫСОКОПОЛИМЕРОВ

Высокомолекулярные соединения представляют собой смесь полимеров*, отличающихся молекулярным весом и относящихся к одному гомологическому ряду. Поэтому они плавятся и затвердевают в некотором интервале температур. Молекулярный вес таких соединений составляет величину от нескольких тысяч до нескольких миллионов. Как известно, увеличение молекулярного веса сопровождается повышением температуры плавления и кипения и уменьшением давления паров вещества. Вследствие этого высокомолекулярные соединения нередко трудноплавки или совсем неплавки и нелетучи.

Структура полимеров может быть аморфной и кристаллической. В соответствии с этим различают полимеры аморфные и кристаллические. В последних обычно присутствует некоторое количество аморфной фазы. Одна из основных характеристик таких полимеров — содержание в них кристаллической фазы (степень кристалличности).

Полимеры и композиции на их основе разделяют на термопластические и термореактивные. Термореактивные материалы, называемые также реактопластами, при нагревании необратимо переходят в неплавкое и нерастворимое состояние. Термопласты после нагревания сохраняют плавкость и растворимость.

Свойства высокомолекулярных соединений зависят от химического строения, молекулярного веса, структуры цепи и взаимного расположения («упаковки») молекул — надмолекулярной структуры.

Чем длиннее цепь, тем выше при прочих равных условиях механическая прочность полимера.

Молекулы высокомолекулярных соединений (макромолекулы) могут быть линейными, разветвленными или сшитыми (пространственными).

* Полимеры — соединения, состоящие из одинаковых звеньев, однако, часто полимерами называют все высокомолекулярные соединения.

Линейные макромолекулы (рис. I-1) представляют собой цепи, в которых атомы соединены между собой ковалентными связями. Отдельные цепи взаимно связаны межмолекулярными силами, величина которых в значительной степени определяет технические свойства вещества. Отсутствие разветвлений и наличие полярных групп увеличивают эти силы, повышая плотность упаковки макромолекул и температуру плавления или размягчения

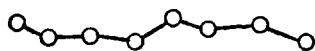


Рис. I-1. Линейная структура макромолекулы.

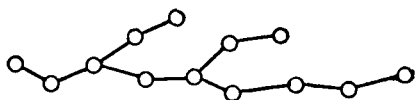
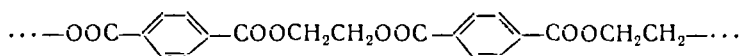


Рис. I-2. Разветвленная структура макромолекулы.

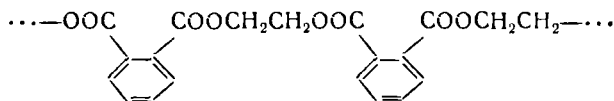
полимера. При этом повышаются механические свойства вещества, но затрудняются его растворение, вальцевание и другие виды переработки.

Наличие в цепях разветвлений или нерегулярно расположенных больших боковых групп (рис. I-2) приводит к ослаблению межмолекулярных сил и, следовательно, к понижению температуры размягчения полимера.

Плотная упаковка цепей требуется, в частности, для получения прочных волокон. Так, имеющий строго линейную структуру полиэтилентерефталат



дает прочные волокна с высокой степенью кристалличности, а аналогичный по химическому составу полиэтиленфталат



не пригоден для получения волокон, так как сближение цепей в этом случае затруднено и полимер имеет более рыхлое строение.

Однако, как показал Натта, плотная упаковка возможна и для цепей с боковыми ответвлениями. Применяя комплексные катализаторы, он получил полистирол, полипропилен и полибутилен с повышенными теплостойкостью и механическими свойствами. Эти полимеры, названные изотактическими, отличаются высокой степенью кристалличности. Большая плотность упаковки достигнута в них стереорегулярным расположением боковых групп у основной цепи. В кристаллическом состоянии молекулы изотактических по-

лимеров имеют спиралевидную структуру (рис. 1-3), одинаковое расположение повторяется в каждом третьем звене цепи. Наглядное представление о возможности плотной упаковки цепей с боковыми группами дает упрощенная схема, приведенная на рис. 1-4,

Стереорегулярное расположение боковых групп может быть как изотактическим (рис. 1-5, а), так и синдиотактическим (рис. 1-5, б). Структура молекул с не-

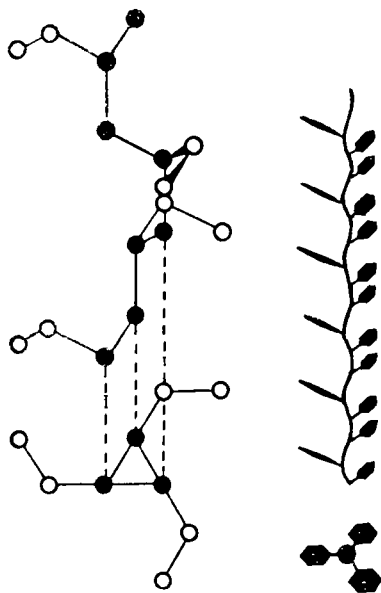


Рис. 1-3. Стереорегулярная структура макромолекулы:

вверху — вид сверху (темные кружки — атомы основной цепи, светлые — атомы боковых цепей); вверху — вид сбоку; внизу — вид снизу.

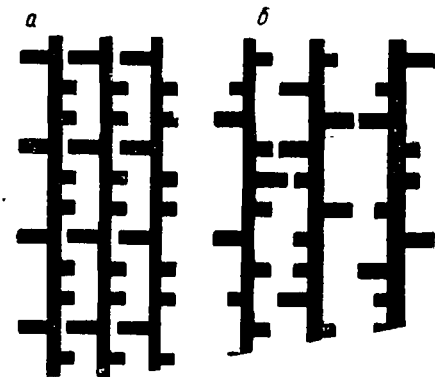


Рис. 1-4. Упрощенная схема плотной и рыхлой упаковки молекул:

а — плотная упаковка цепей с регулярным строением; б — рыхлая упаковка нерегулярных цепей.

регулярным расположением боковых групп называется атактической (рис. 1-5, в).

Синдиотактическое строение характеризуется расположением боковых групп по обе стороны от плоскости основной цепи, а изотактическое — по одну сторону от нее.

Линейные и разветвленные полимеры растворяются в соответствующем растворителе, плавятся без изменения основных свойств и при охлаждении снова переходят в твердое состояние.

Следует отметить, что структура полимеров сохраняется в температурном интервале, лежащем не выше температуры затвердевания. При более высоких температурах макромолекула непрерывно изменяет свою конформацию вследствие взаимного перемещения звеньев. Конформациями называются различные молекулярные структуры, возникающие в результате вращения групп

атомов вокруг ординарных связей и имеющие вследствие этого как различные пространственные расположения атомов, так и различное содержание энергии.

Гибкость полимерной цепи, состоящей из атомов углерода, связанных ординарными связями, зависит от взаимодействия боковых

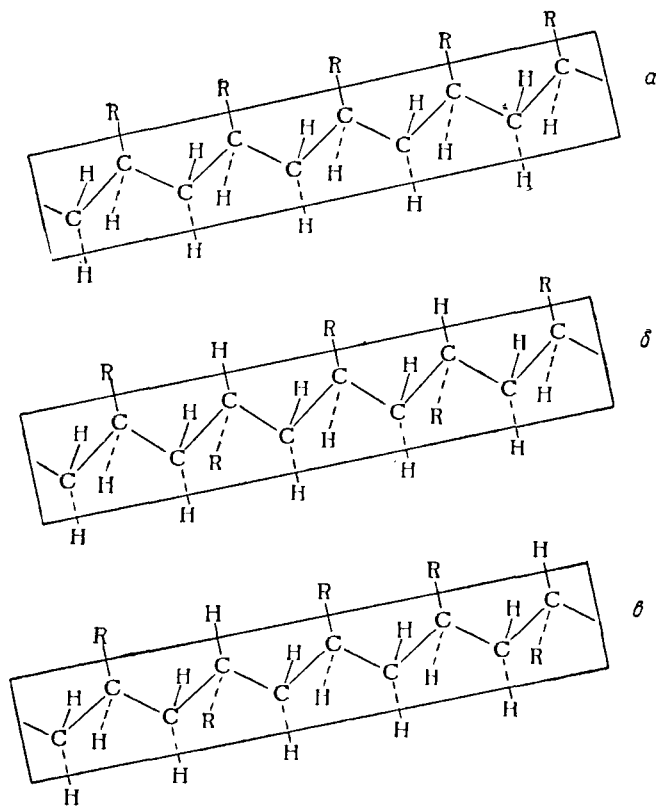
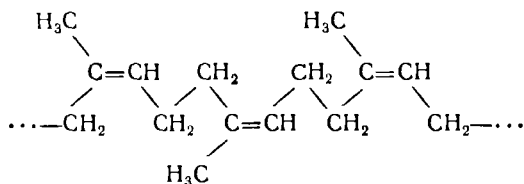


Рис. 1-5. Типы структур молекул полипропилена:
а — изотактическая; б — синдиотактическая; в — атактическая.

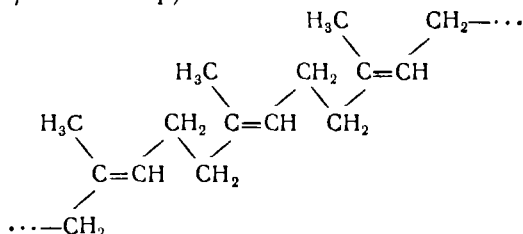
заместителей при их повороте. Таким образом, гибкость цепи определяется природой химических связей в главной цепи атомов, а также химическим составом и строением боковых заместителей.

Неизменяющееся расположение атомов в цепи называется конфигурацией. Следовательно, одной конфигурации могут соответствовать различные конформации. Примерами различных конфигураций могут служить *цис*- и *транс*-изомеры, например натураль-

ный каучук (*цис*-изомер)



и гуттаперча (*транс*-изомер)



Некоторые возможные конформации одного соединения представлены на рис. I-6.

В зависимости от конформации макромолекулы изменяются ее гибкость и степень эластичности полимера, что, в свою очередь, определяет характер деформации материала при механическом воздействии. Макромолекулы стремятся принять клубкообразную конформацию, но под действием механических усилий они распрямляются в большей или меньшей степени.

Взаимодействие между макромолекулами ограничивает свободу перемещения звеньев основной цепи, причем интенсивность вращения определяется характером заместителей, расстоянием между цепями, полярностью последних и температурой.

Характер вращения звеньев цепи определяется их кинетической энергией. Для изменения конформации молекуле требуется сообщить определенное количество энергии (например, тепловой), которое называется энергетическим барьером макромолекулы.

Сшитые структуры, называемые также пространственными или сетчатыми, получают либо сшивкой отдельных линейных цепей

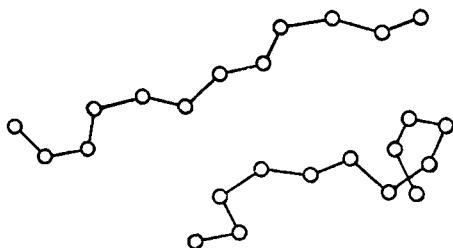


Рис. I-6. Различные конформации одной макромолекулы.

полимеров, либо в результате поликонденсации и полимеризации многофункциональных соединений (мономеров, содержащих более двух полифункциональных групп).

Сшивка линейных цепей полимеров может происходить в результате непосредственного взаимодействия функциональных групп макромолекул, имеющих в обеих цепях, а также при реакции этих групп с каким-либо сшивающим низкомолекулярным агентом. Первый метод дает малое количество поперечных связей и сопровождается побочными процессами. Примером такой непосредственной сшивки цепей является получение сетчатого полимера поливинилового спирта при его нагревании в присутствии водоотнимающего вещества.

Широкое промышленное применение имеет второй метод. Примерами его могут служить вулканизация каучука серой

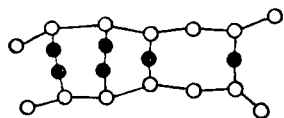
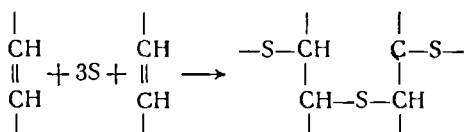
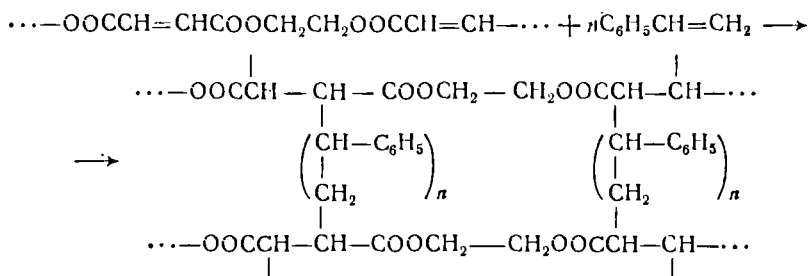


Рис. I-7. Структура сшитого (пространственного) полимера.



или сшивка цепей ненасыщенных полиэфиров типа полигликоль-малеинатов стиролом:



Количество поперечных связей влияет на свойства сшитого полимера. Если эти связи располагаются сравнительно редко, то полимер в некоторой степени изменяется при нагревании и воздействии растворителей, т. е. набухает в них и несколько размягчается при нагревании. При частом расположении поперечных связей полимер становится полностью неплавким и нерастворимым.

Представление о строении сшитого (пространственного) полимера с поперечными связями дает рис. I-7.

КРИСТАЛЛИЧЕСКОЕ И АМОРФНОЕ СОСТОЯНИЯ ПОЛИМЕРОВ

Кристаллические полимеры Понятие кристалличности полимеров отличается от соответствующего понятия для низкомолекулярных соединений. Кристаллы низкомолекулярных соединений обязательно обладают правильной геометрической формой и четко выраженными гранями. Под кристалличностью же высокомолекулярных соединений обычно подразумевается упорядоченное расположение цепей и звеньев.

В аморфных полимерах упорядоченное строение наблюдается на расстояниях, соизмеримых с размерами звеньев цепи (ближний порядок).

Для кристаллических веществ характерен не только ближний, но и дальний порядок, т. е. соблюдающийся на расстояниях, превышающих во много раз размеры звеньев цепи полимера.

Наличие кристаллической фазы у полимеров оказывает большое влияние на его физико-механические свойства. При переходе полимера из аморфного в кристаллическое состояние повышаются прочность на разрыв и теплостойкость. Наличие аморфной фазы уменьшает жесткость системы и делает ее эластичной. В некоторых технологических процессах преднамеренно увеличивают содержание аморфной фазы в кристаллических полимерах, благодаря чему готовые изделия становятся более эластичными. Это достигается тем, что расплавы полимеров быстро охлаждают и таким образом затрудняют кристаллизацию. Такой процесс называется «закалкой» полимера.

Степень кристалличности полимеров может быть более 90%. Остальная часть вещества при этом имеет аморфное строение. Содержание кристаллической фазы может изменяться у одного и того же полимера от изменения температуры, растягивания и других воздействий.

Вопросы сопряжения кристаллической и аморфной областей во многом пока еще не выяснены.

Прежде считали, что в аморфных участках цепи находятся в хаотически перепутанном состоянии. На основании ряда соображений было высказано предположение о наличии некоторой упорядоченности и в незакристаллизованной (аморфной) части полимера. Это привело к разработке «пачечной» теории строения полимеров, согласно которой первичными структурами являются пачки молекул, в которых имеется некоторая начальная упорядоченность и клубкообразные молекулы-глобулы. Конечные надмолекулярные* структуры получаются в результате дальнейшего упорядочения пачек и глобул.

* Надмолекулярными называются структуры, возникающие при укладке макромолекул.

Представления о надмолекулярной структуре полимеров находятся в стадии развития.

Кристаллизация расплава полимера происходит при его охлаждении несколько ниже температуры плавления $T_{пл}$. В результате выделяющейся теплоты кристаллизации температура полимера повышается до температуры плавления и остается затем постоянной. При кристаллизации резко изменяются удельный объем вещества (рис. I-8) и другие свойства.

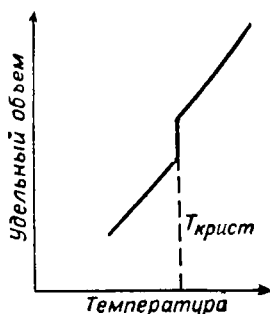


Рис. I-8. Кривая затвердевания кристаллического полимера.

Сущность кристаллизации полимеров заключается в том, что тепловая энергия движения цепных молекул и их звеньев настолько уменьшается при охлаждении, что не может преодолеть сил межмолекулярного взаимодействия, и происходит закрепление молекул и их звеньев в некотором упорядоченном положении.

Как и в случае низкомолекулярных жидкостей, кристаллизация полимеров протекает в два этапа: 1) образование центров кристаллизации и 2) рост кристаллов. Понижение температуры ускоряет первый этап процесса и замедляет второй. Поэтому для каждого отдельного процесса кристаллизации полимеров имеется какая-то оптимальная температура, при которой оба этапа будут проходить достаточно быстро.

Способность полимера к кристаллизации определяется рядом факторов, из которых наибольшее значение имеют его химическое строение, структура цепи и ее гибкость.

Регулярное строение цепи является необходимым условием для кристаллизации полимера, так как лишь при таком строении возможна плотная упаковка, характерная для кристаллической структуры.

Плотная упаковка цепей, при которой межмолекулярный объем сводится к минимуму, определяет наиболее устойчивую систему. Для этой упаковки нужно распрямление полимерных цепей. Большое значение для плотной упаковки макромолекул имеет уменьшение объема полимера сравнительно с объемом исходного мономера, объясняющееся тем, что при полимеризации происходит сближение от исходного расстояния между мономерами (3—4 Å) до расстояния между звеньями ($\sim 1,5$ Å), т. е. сжатие вещества.

Влияние полярных групп на плотность упаковки носит сложный характер. С одной стороны, наличие полярных групп в макромолекулах делает систему более устойчивой, вследствие чего требуются более высокие температуры для разрушения, и кристаллизация при более высокой температуре происходит легче.

С другой стороны, повышенное межмолекулярное взаимодействие, повышая вязкость системы, препятствует перегруппировке частиц, замедляет кристаллизацию и, благодаря этому, может приводить к стеклованию. Известно, что некоторые одно- и многоатомные спирты, являющиеся соединениями с высокой полярностью, при охлаждении застекловываются.

С увеличением гибкости цепи повышается склонность полимера к кристаллизации, так как облегчается перегруппировка звеньев, необходимая для их упорядоченного расположения. Однако чрезмерно высокая гибкость цепи способствует нарушению достигнутой ориентации звеньев, препятствуя, таким образом, процессу кристаллизации. Поэтому для каждого полимера характерна некоторая оптимальная гибкость цепи и, соответственно ей, оптимальная температура кристаллизации.

Известно, что некоторые полимеры кристаллизуются при растяжении (рис. 1-9). Для кристаллических полимеров характерно образование при растяжении образца так называемой шейки. На первой стадии (участок I) деформация невелика и пропорциональна силе растяжения, на второй (участок II) наступает местное сужение с образованием шейки и происходит значительное удлинение образца при постоянной нагрузке, причем широкая его часть тоже сужается до постоянного сечения, соответствующего шейке. На третьей стадии (участок III) продолжается растяжение при увеличивающейся нагрузке до разрыва образца. Структура шейки отличается от утолщенной части строгой ориентацией кристаллической фазы.

Если из шейки вырезать новый образец и подвергнуть его растяжению в направлении, перпендикулярном к первичной вытяжке, то снова образуется шейка, но ориентация кристаллических областей в ней будет перпендикулярной к направлению их в утолщенной части образца. Этот процесс изменения ориентации кристаллических участков называется рекристаллизацией и объясняется тем, что усилия, стремящиеся оторвать одни цепи от других, способствуют плавлению. Поэтому, когда направление растягивания перпендикулярно к направлению кристаллических областей, происходит плавление этих областей и образование новой структуры, у которой кристаллические участки направлены вдоль растягивающих сил. Образование шейки наблюдается у кристаллических и аморфных полимеров, но ряд полимеров (например, триацетат и нитрат целлюлозы) растягивается без образования шейки.

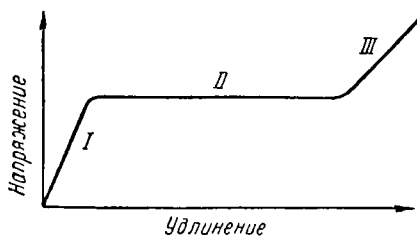


Рис. 1-9. Диаграмма растяжения кристаллического полимера.

Аморфное твердое состояние вещества называется стеклообразным (ввиду того, что затвердевание жидкости без кристаллизации особенно характерно для обычного стекла), а переход в стеклообразное состояние — стеклованием. Рассмотрим процесс стеклования полимеров.

Процесс стеклования можно представить следующим образом. При охлаждении полимерного расплава происходят повышение его вязкости и уменьшение энергии теплового движения макромолекул. Если передвижение молекул затруднено их большими размерами или по другим причинам, а построение в кристаллы — асимметрией, то при охлаждении полимера его частицы фиксируются до того, как они приняли регулярную, т. е. характерную для кристаллов структуру. Фиксация структуры препятствует тепловому движению макромолекул. Однако этому процессу способствует внутри- и межмолекулярное взаимодействие, которое при понижении температуры полимера не изменяется или изменяется очень мало, энергия же теплового движения уменьшается значительно. Образуются местные межмолекулярные связи — узлы. Хотя эти связи значительно слабее химических и могут легко разрушаться при нагревании, их появление фиксирует молекулы в некотором случайном положении; система при этом становится жесткой и приобретает свойства твердого тела, но без регулярного строения

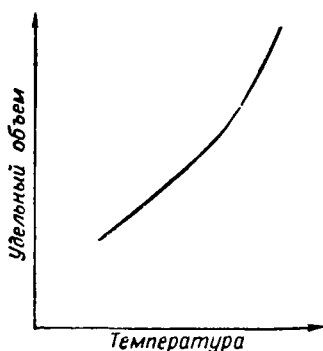


Рис. I-10. Кривая затвердевания аморфного полимера.

дальнего порядка — образуется твердое аморфное вещество. Переход жидкости в твердое аморфное вещество происходит постепенно, без резкого изменения физического состояния и выделения энергии (рис. I-10). Такие вещества иногда называют переохлажденными жидкостями, или твердожидкими веществами. Переохлажденная жидкость по сравнению со своей кристаллической модификацией имеет больший запас энергии. Это определяет возможность самопроизвольного перехода аморфного вещества в кристаллическое. Известно, например, что отлитые из кристаллических полимеров изделия могут при хранении и эксплуатации повышать свою кристалличность;

так, в изделиях, полученных методом литья под давлением из полиэтилена, кристалличность за 1300 дней повышалась в среднем на 6%. Однако самопроизвольный переход аморфных веществ в кристаллические весьма затруднен, так что практически для большинства полимеров аморфное состояние является устойчивым.

За температуру стеклования принимают такую температуру, при которой вязкость полимера достигает 10^{13} пз и полимер приобретает свойства твердого тела. Практически стеклование протекает в некотором температурном интервале, составляющем для большинства полимеров 10—20 град. Температура стеклования представляет собой среднюю температуру этого интервала и зависит от химического состава полимера, молекулярного веса, структуры макромолекул и, как следствие, межмолекулярного взаимодействия.

Температура стеклования определяет такие важные свойства полимера, как его морозостойкость и теплостойкость. Поэтому необходимо знать, какие факторы влияют на способность материала к стеклованию.

Как уже отмечалось, большое значение приобретают наличие и расположение полярных групп. Неполярные полимеры имеют низкие температуры стеклования, например у полиэтилена и натурального каучука температура стеклования -70°C . Температуры стеклования сильнополярных полимеров, например целлюлозы и полиакрилонитрила, настолько высоки, что превышают их температуры разложения. Симметричное расположение полярных групп у политетрафторэтилена обуславливает его низкую температуру стеклования (-150°C).

Экранирование полярных групп неполярными уменьшает межмолекулярное взаимодействие и снижает температуру стеклования, например у силиконовых каучуков температура стеклования из-за экранирующего действия алкильных групп значительно снижена (до -120°C).

Наличие больших боковых заместителей затрудняет вращение звеньев, снижает гибкость цепи и соответственно повышает температуру стеклования, так как требуется сообщить больше тепловой энергии для придания звеньям подвижности, например боковая фенильная группа у полистирола повышает температуру стеклования последнего до 100°C . Однако часто влияние размеров боковых заместителей на величину температуры стеклования имеет сложный характер. Увеличение размеров бокового заместителя еще больше затрудняет вращение звеньев, но в то же время дает большее экранирование полярных групп. Замена метильных групп в полиметилметакрилате на этильные и бутильные снижает температуру стеклования со 100° (полиметилметакрилат) до 50° (полиэтилметакрилат) и 20°C (полибутилметакрилат). Однако при дальнейшем увеличении размеров боковых заместителей влияние стерических факторов (вращение звеньев при значительных размерах заместителей затруднено) превосходит экранирующий эффект этих групп и температура стеклования для больших заместителей повышается.

С увеличением молекулярного веса температура стеклования повышается, но лишь до определенного предела, после которого остается постоянной. Этот предельный молекулярный вес зависит от гибкости цепи полимера и составляет, например для полистирола 40 000, а для полиизобутилена, обладающего очень гибкими цепями, около 1000.

Для определения температуры стеклования пользуются различными методами, из которых наибольшее значение получил метод деформации. Он заключается в определении деформации, которая при переходе полимера в стеклообразное состояние приобретает полностью упругий характер.

Температура стеклования всегда ниже температуры кристаллизации, так как иначе кристаллизация не могла бы наступить. Если быстро охлаждать кристаллизующиеся в нормальных условиях полимеры до температуры стеклования, то получаются аморфные полимеры.

ФИЗИЧЕСКИЕ СОСТОЯНИЯ ПОЛИМЕРОВ

Давление паров полимеров незначительно, поэтому полимеры разлагаются при нагревании, не переходя в парообразное состояние. Следовательно, они практически могут находиться лишь в двух агрегатных состояниях: твердом (кристаллическом или аморфном) и жидком (вязкотекучем).

В твердом состоянии перемещение цепи в целом и колебания звеньев отсутствуют, а тепловое движение выражается лишь в колебании атомов.

При нагревании твердые аморфные полимеры не сразу переходят в жидкое состояние. Существует промежуточная зона — высокоэластическое состояние, при котором деформации полимера носят обратимый характер. В связи с тем, что в кристаллических полимерах обычно присутствует и аморфная фаза, их переход в жидкое (вязкотекучее) состояние происходит тоже через высокоэластическое состояние. В высокоэластическое состояние полимеры переходят при нагревании выше температуры стеклования. Это состояние характеризуется подвижностью участков цепи при отсутствии перемещения цепи в целом. Участки цепи (звенья и группы звеньев) ведут себя подобно молекулам низкомолекулярных жидкостей. Такие участки цепей, обладающие сравнительной независимостью движения, получили название «сегментов» цепей.

Понятие сегмента является относительным, так как величина его зависит от условий движения или деформации полимера. Те условия, которые увеличивают гибкость цепи, соответственно уменьшают размеры сегмента, так как при большей гибкости молекулы более короткие отрезки могут двигаться сравнительно независимо.

Сущность перехода полимера в вязкотекучее состояние заключается в том, что с повышением температуры энергия теплового движения макромолекул превосходит силы межмолекулярного взаимодействия. При этом макромолекулы могут свободно перемещаться при сравнительно небольших усилиях и без разрушения химических связей. Температуру перехода можно снизить добавкой пластификаторов, уменьшающих межмолекулярное взаимодействие. Этот переход имеет большое практическое значение для процессов переработки пластмасс в изделия, так как они легко формируются в вязкотекучем состоянии.

Текучесть полимеров зависит от ряда причин: температуры, молекулярного веса, а также величины и времени действия силы, вызывающей течение полимеров. При повышении молекулярного веса полимера текучесть уменьшается.

Пластикация на вальцах или в червячном прессе снижает молекулярный вес вследствие механической и частично термической деструкции полимеров и повышает их текучесть.

В связи с гибкостью полимерных молекул перемещение цепей происходит не сразу, а последовательным передвижением участков цепи. Если цепь жесткая, то подвижные участки длиннее и сопротивление их перемещению значительно больше. Перемещение цепей в процессе течения полимера связано с некоторым выпрямлением свернутых цепей и их ориентацией.

Если ослабить взаимодействие между соседними цепями полимера, то переход в стеклообразное состояние будет происходить при более низкой температуре. Это достигается внутренней и внешней пластификацией.

Внутренней пластификацией называется ослабление связи между цепями полимера посредством изменения состава или строения самой цепи. Один из таких способов — сополимеризация. Например, сополимеризация стирола с бутадиеном значительно снижает температуру стеклования — от 80°C для чистого полимера стирола до $(-30) - (-65)^{\circ}\text{C}$ для сополимера (в зависимости от соотношения в полимере звеньев стирола и бутадиена).

Чаще всего под термином пластификация понимают внешнюю пластификацию, которая заключается в воздействии на полимер жидких высококипящих или твердых веществ, называемых

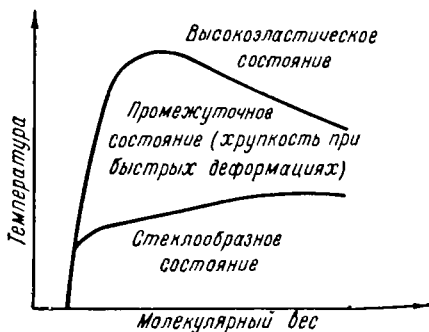


Рис. I-11. Зависимость состояния вещества от величины молекулярного веса и температуры.

пластификаторам. Ими могут быть как низкомолекулярные соединения, так и полимеры.

Действие пластификаторов заключается в том, что, проникая между цепями, они ослабляют межмолекулярные силы.

Зависимость состояния вещества от величины молекулярного веса и температуры иллюстрируется диаграммой (рис. I-11).

ДЕФОРМАЦИЯ ПОЛИМЕРОВ

Деформацией называют относительное перемещение частиц тела при сохранении его непрерывности. Течение расплавов, представляющее одну из разновидностей деформации, будет рассмотрено в разделе «Реология расплавов полимеров».

Деформация материалов может быть упругой, высокоэластической и пластической. Жесткие материалы, например сталь, обладают упругой деформацией, следующей закону Гука:

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{\sigma}{E}$$

где Δl — величина деформации, т. е. удлинение образца;

σ — напряжение;

E — модуль упругости первого рода, равный напряжению, при котором длина растягиваемого образца удваивается.

Упругая деформация происходит почти мгновенно, вследствие приложением силы и имеет незначительную величину, так как уже при небольшой деформации, порядка 1%, образец разрушается.

Все виды упругой деформации характеризуются тем, что по снятии внешнего усилия деформация исчезает и тело возвращается к первоначальной форме за счет энергии, приданной телу при деформации.

Эластичные тела, например резина, также обладают упругой деформацией, но соотношение между величинами усилия и деформации носит совершенно другой характер: небольшие усилия вызывают значительное удлинение образца. Модуль упругости для резины составляет около 20 кгс/см². Такая деформация называется высокоэластической.

При растягивании высокоэластичных материалов они значительно удлиняются, что связано с выпрямлением свернутых цепей. Высокоэластическая деформация обратима. После снятия нагрузки образец восстанавливает начальную длину, так как растянутые цепи снова свертываются.

Пластической называется необратимая деформация, сохраняющаяся и после удаления внешних усилий. Пластическая деформация характеризуется тем, что под влиянием внешних усилий изменяется взаимное расположение частиц тела без изменения энер-

гни системы. Поэтому новое расположение частиц сохраняется после снятия напряжения.

Практически пластической деформации сопутствует высокоэластическая, которая медленно исчезает после снятия нагрузки, что создает видимость пластической деформации. Например, если растянуть полоску резины, то после удаления растягивающей силы полоска сократится, но не до прежней длины, т. е. наблюдается остаточная деформация. Однако если полоску нагреть, то она примет прежнюю длину — остаточное удлинение носило характер высокоэластической деформации, и повышение температуры сократило время релаксации*. Это имеет большое практическое значение, так как сформованная деталь может значительно деформироваться при повышении температуры или же просто со временем. Поэтому важно уметь различать, какая часть наблюдаемой деформации является пластической, т. е. необратимой, и какая должна быть отнесена к высокоэластической. Наиболее точным (хотя и сложным) способом определения типа деформации является сравнение молекулярной структуры до и после деформации; если молекулярная структура не изменилась — деформация является пластической.

Из диаграммы для аморфного полимера (рис. I-12) видно, что в низшем температурном интервале вещество находится в стеклообразном состоянии, т. е. деформация мала и увеличивается пропорционально температуре. Выше температуры стеклования T_g вещество переходит в высокоэластическое состояние, характеризующееся резким увеличением деформации, а выше температуры текучести T_f вещество становится вязкотекучим или пластическим.

Температура, охлаждаясь до которой вещество теряет свойство эластичности и разрушается при быстрых нагрузках, называется температурой хрупкости. Для практического применения материалов в условиях быстропеременных нагрузок температура хрупкости является очень важным показателем.

Полная деформация полимера складывается, таким образом, из упругой, высокоэластической и пластической деформаций.

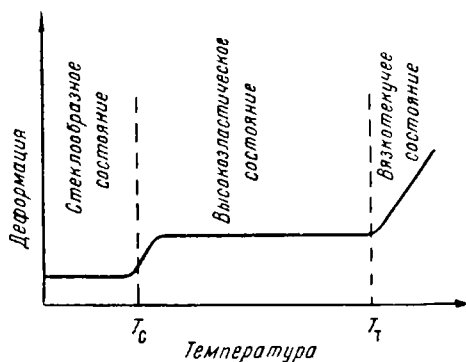


Рис. I-12. Термомеханическая кривая аморфного полимера.

* О релаксации — см. стр. 26.

РЕЛАКСАЦИЯ. ПОЛЗУЧЕСТЬ. ГИСТЕРЕЗИС

В отличие от низкомолекулярных упругих тел, например металлов, у которых состояние равновесия при деформации достигается почти мгновенно, у полимеров переход в такое состояние запаздывает относительно приложенной нагрузки, и это опоздание может быть весьма значительным. Процесс запаздывающего перехода в новое состояние равновесия, соответствующее деформирующему усилию, называется релаксацией, а время протекания этого процесса — временем релаксации. Величина релаксации зависит от структуры полимера и скорости приложения нагрузки, а для переменных нагрузок — также и от частоты изменения нагрузки.

Помимо механической релаксации, связанной с приложением механической нагрузки, существует релаксация температурная, которая заключается в перегруппировке молекул и переходе их в новое состояние равновесия при изменении температуры.

С повышением температуры при механических нагрузках увеличивается скорость перегруппировки молекул и их распрямление при растягивающих усилиях, время же релаксации сокращается.

Время релаксации полимеров в высокоэластическом состоянии обычно велико. На рис. I-13 приведена зависимость деформации полимеров от времени при различных температурах. При более

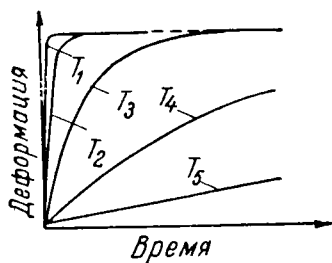


Рис. I-13. Зависимость деформации полимеров от времени при различных температурах ($T_1 > T_2 > T_3 > T_4 > T_5$).

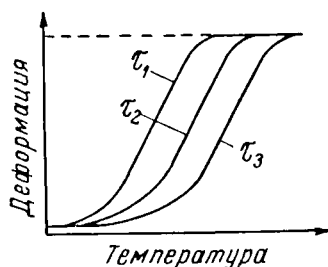


Рис. I-14. Зависимость деформации полимеров от температуры для различных времен деформации ($\tau_1 > \tau_2 > \tau_3$).

высоких температурах деформация развивается быстрее (время релаксации сокращается). Зависимость деформации полимеров от температуры для различных времен деформации приведена на рис. I-14. При низких температурах деформация мала и почти не зависит от времени действия силы.

Время релаксации значительно больше времени приложения силы, поэтому высокоэластическая деформация не успевает осу-

существовать. При высоких температурах время релаксации очень мало и деформация происходит даже в течение коротких промежутков времени. При некоторых средних температурах, различных для разных полимеров, время релаксации и время деформации соизмеримы. В этом случае величина деформации в значительной степени зависит от времени действия силы. Если последнее больше времени релаксации, то деформация успевает осуществиться. При большой скорости приложения силы высокоэластическая деформация не успевает развиться и полимер ведет себя как жесткое тело, как бы утрачивая свойство эластичности. В этом случае полимер может не выдержать нагрузки, которая для него допустима при большей длительности приложения силы. Отсюда следует, что прочность полимеров определяется не только величиной приложения силы, но и временем действия этой силы.

Для многих полимеров характерно свойство ползучести (способность медленно деформироваться при постоянных механических нагрузках), которое необходимо учитывать при их практическом применении. Это свойство наиболее наглядно проявляется, если к образцу полимера, имеющему форму полоски, приложить какое-либо постоянное механическое усилие, например подвесить груз, под влиянием которого эта полоска постепенно растягивается. Удлинение будет продолжаться даже в том случае, если уменьшать груз так, чтобы удельная нагрузка на полимер с учетом сужения полоски при растягивании оставалась постоянной.

На рис. I-15 представлена зависимость деформации от времени для линейных (кривая 1) и пространственных (кривая 2) полимеров. Для линейного полимера такое удлинение неограниченно, а для пространственного имеет некоторое конечное значение.

Если снять нагрузку с растянутого линейного полимера, то он частично сократится, но не достигнет исходной длины, т. е. деформация является лишь частично обратимой. Это объясняется тем, что при растягивании происходит два основных вида деформации: 1) распрямление скрученных макромолекул и 2) вязкое течение, т. е. относительное перемещение цепей молекул. Распрямленные макромолекулы при снятии нагрузки снова скручиваются. Этот вид деформации обратим. Удлинение, возникшее вследствие вязкого течения, — процесс необратимый.

При растягивании образца пространственного полимера вязкое течение отсутствует, и процесс является обратимым (рис. I-16). Сокращение растянутых образцов после удаления растягивающей силы обозначено на рисунке пунктиром. Образец пространственной структуры полностью возвращается к исходной длине, а линейный полимер — лишь частично.

Ползучесть, называемая также крипом, является крупным недостатком полимеров, препятствующим применению многих пластмасс в нагруженных конструкциях.

С релаксацией полимеров связана их способность к механическому гистерезису, которая заключается в следующем. Если постепенно увеличивать, а затем также постепенно уменьшать усилие, действующее на образец, то кривая, показывающая изменение

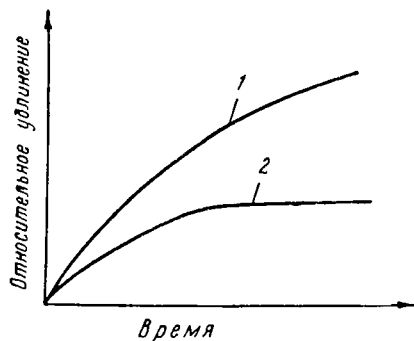


Рис. I-15. Зависимость относительного удлинения образца аморфного полимера от времени при действии постоянной растягивающей силы:

1 — линейные полимеры; 2 — пространственные полимеры.

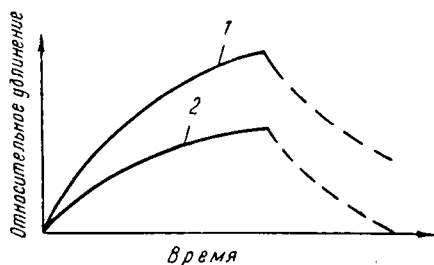


Рис. I-16. Зависимость относительного удлинения образца аморфного полимера от времени при действии постоянной растягивающей силы и после прекращения этого действия:

1 — линейные полимеры; 2 — пространственные полимеры.

Пунктиром обозначено сокращение растянутых образцов после удаления растягивающей силы.

деформации при увеличении усилия, не совпадает с соответствующей кривой при уменьшении усилия (рис. I-17). На графике получается так называемая петля гистерезиса. Это объясняется тем, что при снятии нагрузки полимер не успевает принять те размеры, которые он имел при данной нагрузке в период ее увеличения, а также наличием некоторой пластической деформации. При очень медленном повышении или уменьшении усилия, а также при отсутствии вязкого течения (например, в случае пространственных полимеров) кривые сливаются и петля не образуется.

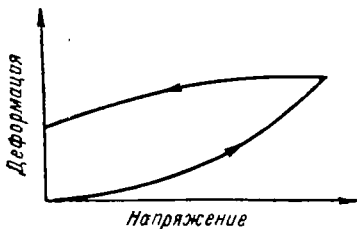


Рис. I-17. Петля гистерезиса.

Гистерезис часто наблюдается при эксплуатации изделий из резины и других высокоэластических материалов, особенно при пониженной температуре, когда энергия теплового движения макромолекул мала и, следовательно, время релаксации велико. Площадь, ограниченная петлей гистерезиса, представляет собой затраты энергии,

которая приводит к нагреванию образца. Этот бесполезный расход энергии можно свести к минимуму при очень малой или очень большой скорости нагружения (в последнем случае деформация не успевает развиваться в достаточной степени).

ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИЕ КРИВЫЕ

Термомеханическими кривыми называются графики, показывающие зависимость деформации от температуры. Поскольку характер деформации определяется состоянием полимера (стеклообразным, высокоэластическим или вязкотекучим), термомеханические кривые показывают состояние полимера при разных температурах. На рис. 1-12 изображена типичная термомеханическая кривая аморфного полимера.

Термомеханические кривые для кристаллических полимеров имеют иной, чем для аморфных полимеров, вид; для сравнительно низкомолекулярных полимеров высокоэластическое состояние отсутствует, причем полимер переходит из кристаллического состояния непосредственно в вязкотекучее.

Не все линейные полимеры могут существовать во всех физических состояниях. Для сильнополярных макромолекул взаимодействие может быть так велико, что полимер при нагревании разлагается раньше перехода в высокоэластическое состояние (например, целлюлоза) или переходит в высокоэластическое состояние. В последнем случае полимер разлагается не переходя в вязкотекучее состояние.

Термомеханические кривые для структурирующихся полимеров имеют иной вид, чем для линейных неструктурирующихся полимеров. Появление сшивок переводит вязкотекучий полимер в высокоэластическое, а затем в стеклообразное состояние.

Термомеханический метод исследования получил большое распространение. Он позволяет определять не только температуры стеклования и текучести, но также кинетику и степень структурирования термореактивных полимеров.

ОРИЕНТАЦИЯ ПОЛИМЕРОВ

Под ориентацией полимеров подразумевается одинаковое направление макромолекул данного материала. Ориентация возникает при вытяжке твердых и размягченных полимеров, при течении расплавов, при вальцевании, каландрировании и некоторых других видах механической переработки полимеров.

Ориентацию полимеров легче всего осуществлять в вязкотекучем состоянии. Часто применяют также холодную вытяжку полимеров, при которой сначала происходит распрямление цепей макромолекул, а затем их ориентация в направлении вытяжки.

В ориентированных полимерах межмолекулярное взаимодействие между соседними цепями осуществляется по всей их длине. Для разрыва образца требуется одновременно разорвать химические связи параллельно расположенных цепей. Это приводит к значительному повышению прочности полимера в направлении ориентации. Удлинение ориентированных полимеров меньше, чем неориентированных, что объясняется некоторым предварительным распрямлением цепей при вытяжке, вследствие чего уменьшается способность цепи к дальнейшему распрямлению при дополнительном растягивании образца.

Вытяжка полимеров заключается в том, что их пропускают через две пары валиков, из которых конечная пара вращается в полтора раза быстрее. Вытяжка также происходит при каландрировании и некоторых других технологических процессах переработки пластмасс.

Различают ориентацию цепей в целом и ориентацию отдельных участков цепей, которая осуществляется при высокоэластической деформации и является обратимой. Для ориентации цепей макромолекул в целом необходим перевод полимера в вязкотекучее состояние. Эта ориентация необратима. Сопротивление движению всей цепи значительно больше, чем сопротивление перемещению отдельных участков. Поэтому скорости ориентации участков и цепей различны. Вначале ориентируются отдельные участки, а затем — цепи в целом. При ориентации цепей и их участков повышается межмолекулярное взаимодействие и увеличивается жесткость системы. Это замедляет процесс как ориентации, так и дезориентации, и в пределе может произойти стеклование аморфных полимеров (механическое стеклование).

Чтобы достигнуть требуемой ориентации, необходимо повысить энергию движения макромолекул или ослабить межмолекулярное взаимодействие, что осуществляется повышением температуры или введением пластификатора. Для сохранения полученной ориентации необходимо охлаждение полимера или удаление пластификатора. Однако такие системы термодинамически неустойчивы и стремятся к самопроизвольной дезориентации.

Практическое значение ориентации полимеров особенно велико для процессов формирования волокон и пленок. Условия применения этих изделий требуют достаточно высокой механической прочности и эластичности. Эти противоречивые требования удовлетворяются в полимерах со средней жесткостью, у которых подвижность цепей в целом незначительна, а подвижность отдельных участков вполне достаточна для придания полимеру эластичности.

Ориентированное состояние, свойственное как кристаллическим, так и аморфным полимерам, приводит к анизотропии свойств.

Между понятиями ориентации кристаллических и аморфных полимеров имеется разница.

1. Различен механизм ориентации и дезориентации для таких полимеров. У аморфных полимеров эти процессы происходят непрерывно, а у кристаллических заметны скачкообразные изменения. Например, ориентированный кристаллический полимер устойчив до температур, при которых ориентированная кристаллическая структура разрушается; у аморфных полимеров повышение температур приводит к увеличивающейся дезориентации. Набухание вызывает непрерывное изменение степени ориентации, а также соответствующих механических свойств аморфных полимеров. Для кристаллических полимеров при малых количествах пластификаторов оно не проявляется заметно.

2. Самопроизвольное изменение структуры кристаллических полимеров (например, при хранении) приводит к большему упорядочению. У аморфных полимеров наблюдается дезориентация или в зависимости от изменений внешних условий — кристаллизация. Следовательно, ориентированная структура кристаллических полимеров является более устойчивой, чем аморфных.

СТАРЕНИЕ ПОЛИМЕРОВ

Высокомолекулярные соединения могут со временем значительно изменять свои свойства: уменьшается эластичность, повышается жесткость и хрупкость материала, снижается его механическая прочность. Это изменение свойств материала, называемое старением, происходит в результате некоторых сложных физико-химических процессов, например деструкции — разрыва химических связей в основной цепи макромолекулы, окисления и сшивки.

К деструкции полимеров приводит нагревание, воздействие кислорода воздуха, облучение (дневной свет, ультрафиолетовые лучи, γ -лучи) и другие специфические условия. В результате деструкции укорачиваются цепи полимера и снижается его механическая прочность. В некоторых случаях деструкцию производят преднамеренно (для повышения реакционной способности и облегчения процесса переработки).

Основные виды деструкции: механическая, термическая и химическая.

Механическая деструкция происходит при истирании и разрыве полимерных материалов. Например, она наблюдается при длительном вальцевании, тонком помоле, скоростном механическом перемешивании, многократном истечении раствора полимера через капилляры, действии ультразвуковых колебаний и т. д. Распад макромолекулы при механическом воздействии возможен из-за локализации механической энергии на отдельных участках цепи. Это приводит к возникновению напряжений, превышающих прочность

связи между звеньями. При механической деструкции происходят процессы, обусловленные образованием свободных радикалов при разрыве ковалентной связи: рекомбинация — образование соединений из обрывков цепей различных макромолекул — и взаимодействие макрорадикалов с другими компонентами.

Характер термической деструкции в значительной степени зависит от структуры полимеров. Например, полиметилметакрилат при нагревании выше 300°C распадается на исходные мономеры. Этот вид деструкции, называемый деполимеризацией, применяется для регенерации мономеров из обрезков и других отходов термопластов.

Химическая деструкция чаще всего происходит при воздействии окислительных и омыляющих реагентов. Для многих высокомолекулярных соединений она возникает под влиянием кислорода воздуха и усиливается при действии света.

При химической и термической деструкции макромолекул могут образоваться новые реакционноспособные группы, определяющие возможность разнообразных химических реакций, в результате которых происходит резкое снижение физико-механических свойств полимера.

Старение полимера может происходить вследствие удаления низкомолекулярных примесей, а также вследствие сшивки цепей. Чтобы замедлить старение, к полимерам добавляют стабилизаторы. Например, для стабилизации полиэтилена часто применяют сажу и амины. Механизм действия этих стабилизаторов различен. Сажа является светостабилизатором — она поглощает в значительной степени свет, уменьшая соответственно облучение полимера. Амины и другие восстановители предохраняют полимер от окисления кислородом воздуха.

РЕОЛОГИЯ РАСПЛАВОВ ПОЛИМЕРОВ

Во многих процессах переработки полимерные материалы находятся в состоянии движения. Изучение закономерностей такого движения — одна из важнейших задач теории переработки полимеров.

При литье под давлением, выдавливании (экструзии), прессовании и каландрировании полимерные материалы находятся в состоянии расплава.

Движение расплавов обычно сопровождается деформацией.

Деформация, протекающая под действием внешних сил непрерывно и необратимо, называется течением.

Закономерности течения изучает реология — часть физики, которая стала самостоятельной наукой.

Реология в широком смысле этого понятия изучает не только течение, но и другие виды деформации, происходящие в телах под действием внешних сил.

Существуют два вида течения: 1) пластическое, которое наступает в случае, когда приложенные силы превышают определенный предел и 2) вязкое, которое возникает под действием любых сил, даже самых незначительных по величине.

Методами реологии изучают строение материалов и исследуют многие процессы в производстве стекла, металлов, пластических масс и т. п. Ниже будут рассмотрены только расплавы полимеров и закономерности их движения.

При действии внешних сил на расплавы полимеров происходит течение и одновременно развивается высокоэластическая деформация.

Материалы, в которых под действием внешних сил развивается течение и упругая деформация, называются вязкоупругими или упруговязкими; расплавы полимеров, обладающие этими свойствами, в дальнейшем будем называть вязкоэластическими.

При действии внешних сил на расплавы определяется суммарная деформация; лишь после того как нагрузка снимается и действие сил прекращается, можно определить величину обратимой высокоэластической деформации.

Под действием приложенных внешних сил в материале возникают напряжения, величина которых в расплавах полимеров зависит от времени действия нагрузки. При отсутствии напряжений в материале не может быть и высокоэластической деформации.

После снятия нагрузки напряжения не исчезают сразу, а требуют некоторого времени для своего исчезновения (релаксация).

Расплавы полимеров под действием нагрузок характеризуются следующими основными особенностями: 1) деформацией течения, которая для многих расплавов полимеров возникает при достижении определенной величины приложенной силы; 2) высокоэластической (обратимой) деформацией и, следовательно, 3) зависимостью величины напряжений от продолжительности действия этих нагрузок (временем релаксации).

Поведение расплавов полимеров условно можно объяснить, уподобив их строение модели, предложенной Максвеллом, которая изображена на рис. I-18. Эта модель представляет собой сочетание двух связанных между собой элементов — упругой пружины и поршня, передвигающегося в вязкой среде. Под действием нагрузки происходит одновременное перемещение обоих элементов. При снятии нагрузки пружина мгновенно вернется в исходное состояние, поршень же сохранит положение, в котором он оказался в момент снятия нагрузки. Пружина соответствует высокоэластическим, а движение поршня — вязким свойствам расплавов.

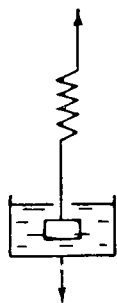


Рис. I-18
Модель.
Максвелла.

Течение расплавов происходит под действием внешних сил. Сопротивление внешним силам приводит к возникновению в расплаве полимера напряжений.

При течении материала в нем происходит сдвиг, поэтому процесс течения может быть охарактеризован двумя величинами: 1) напряжением, вызывающим сдвиг в расплаве, — напряжением сдвига (его обычно обозначают буквой τ) и 2) скоростью сдвига. Напряжение сдвига действует касательно к поверхности, на которой происходит сдвиг. Величина напряжения сдвига зависит от площади поверхности стенок, с которыми соприкасается расплав полимера при течении.

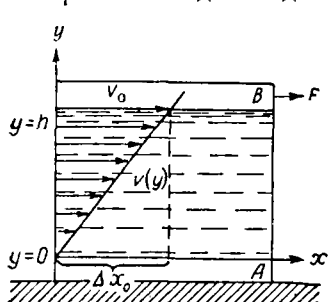


Рис. I-19. Схема установившегося развития однородного сдвига (ламинарного течения) в слое жидкости.

Напряжение сдвига τ можно найти, если известны величины приложенной силы и площадь, к которой она приложена, из следующего выражения:

$$\tau = \frac{F}{S}$$

где F — величина приложенной силы, *дин* или *кгс*;

S — площадь, к которой приложена сила, *см*².

Для круглой трубы (канала) напряжение сдвига у ее стенки определяется по формуле:

$$\tau = \frac{r \Delta p}{2L}$$

где r — радиус трубы, *см*;

Δp — разность давлений на концах трубы, *кгс/см*².

L — длина трубы, *см*.

Пример I-1. Определить напряжение сдвига в расплаве, движущемся по каналу радиусом 2,38 мм, длиной 17,1 мм, при разности давлений на входе и выходе 200 *кгс/см*².

Подставив эти величины в приведенную формулу, получим:

$$\tau = \frac{2,38 \cdot 200}{2 \cdot 17,1} = 13,9 \text{ кгс/см}^2$$

Изменение скорости сдвига можно рассмотреть на примере течения жидкости между двумя параллельными пластинами (рис. I-19). Нижняя пластина A установлена неподвижно, верхняя B смещается под действием касательной силы параллельно нижней. Слой жидкости, прилегающий к верхней пластине, перемещается вследствие адгезии вместе с ней и имеет максимальную скорость, нижний — неподвижен. Все промежуточные слои переме-

щаются с разной скоростью, но так как сдвигающая сила передается равномерно через всю толщу жидкости к нижней пластине, то разница в скорости движения между слоями, находящимися на одинаковом расстоянии, будет всегда постоянной. Отношение разности скоростей dv двух слоев к расстоянию dy между ними называется градиентом скорости (скоростью сдвига) dv/dy . Скорость сдвига определяется скоростью течения. Чем выше последняя, тем больше скорость деформации сдвига в расплаве.

Скорость сдвига находится в прямой зависимости от напряжения сдвига. Работа внешней силы, уравнивающей установившееся течение, полностью переходит в теплоту.

Скорость сдвига v_c (в сек^{-1}) в канале червяка червячного пресса может быть приближенно определена по уравнению:

$$v_c = \frac{\pi DN}{60n}$$

где D — наружный диаметр червяка, см ;

n — глубина канала, см ;

N — число оборотов, об/мин .

Пример 1-2. Определить скорость сдвига в канале червяка диаметром 6,35 см и глубиной 0,254 см при числе оборотов 60 об/мин .

Подставив эти значения в приведенную формулу, получим искомую величину скорости сдвига:

$$v_c = \frac{3,14 \cdot 6,35 \cdot 60}{60 \cdot 0,254} = 78,5 \text{ сек}^{-1}$$

В круглом канале скорость сдвига определяется следующими выражениями:

$$v_c = \frac{32Q}{\pi D^3} \quad \text{или} \quad v_c = \frac{4Q}{\pi R^3}$$

где Q — объемная производительность, $\text{см}^3/\text{сек}$;

D — диаметр, см .

Пример 1-3. Определить скорость сдвига в трубе диаметром 0,25 см , из которой вытекает 1,66 $\text{см}^3/\text{сек}$ жидкости.

Подставив эти значения в приведенную формулу, находим искомую скорость сдвига:

$$v_c = \frac{32 \cdot 1,66}{3,14 \cdot 0,25^3} = 1084,1 \text{ сек}^{-1}$$

В щелевом канале скорость сдвига определяется по уравнению:

$$v_c = \frac{5,58Q}{wt^2}$$

где Q — производительность, $\text{см}^3/\text{сек}$;

w — ширина щели, см ;

t — зазор, см .

Пример 1-4. Определить скорость сдвига в щелевом канале шириной 1,2 см и высотой 0,2 см при производительности 0,8 см³/сек.

Подставив эти значения в приведенную выше формулу, получим:

$$v_c = \frac{5,58 \cdot 0,8}{1,2 \cdot 0,2^2} = 100 \text{ сек}^{-1}$$

Течение — это необратимое перемещение молекул под влиянием приложенной извне силы. При этом возникает сила внутреннего трения, препятствующая перемещению молекул. Перемещение длинных цепных молекул полимера в процессе течения происходит по так называемому диффузионному механизму — хаотическим перемещением отдельных участков гибкой цепи, а не всей молекулы одновременно.

Течение многих жидкостей связано с преодолением сил только межмолекулярного взаимодействия. Иная картина наблюдается при течении расплавов и растворов полимеров, которое неизбежно сопровождается развитием высокоэластической деформации. Перемещение скрученной молекулы обязательно вызывает некоторое ее распрямление — ориентацию. Молекулы полимера способны образовывать между собой связи за счет перепутываний, которые создают структуры. В процессе течения эти структурные элементы могут изменять свои размеры.

Кроме ориентации и изменения структурных элементов, могут разрушаться химические связи в молекулах. При быстром воздействии больших механических усилий может произойти разрушение молекулы по химическим связям с образованием свободных макрорадикалов, при этом происходят процессы деструкции и сшивки, необратимо изменяющие свойства полимеров. Течение, сопровождающееся разрывом химических связей, носит название химического течения.

Следовательно, течение полимеров представляет собой сложный процесс, в котором, кроме перемещения молекул, могут иметь место ориентация молекул, изменение размеров структурных элементов, разрушение химических связей в молекулах.

Интенсивность названных явлений зависит от напряжения сдвига. Таким образом, свойства расплавов полимеров непостоянны в отличие от свойств многих жидкостей, которые сохраняют их в процессе течения независимо от величины приложенной силы.

Закономерность процесса течения низкомолекулярных жидкостей установлена Ньютоном. Между напряжением сдвига и скоростью сдвига существует прямая зависимость, которая может быть выражена уравнением:

$$\tau = \eta \frac{dv}{dy} \text{ или } \tau = \eta v_c$$

Жидкости, подчиняющиеся этому закону, называются ньютоновскими. Коэффициент пропорциональности η — это материаль-

ная константа, которая носит название вязкости. Вязкость — свойство жидких, газообразных и твердых тел оказывать сопротивление их течению, т. е. перемещению одного слоя тела относительно другого под действием внешних сил. Вязкость — свойство, обратное текучести. Она определяется тепловым движением, размерами и формой молекул, их взаиморасположением и действием межмолекулярных сил.

Преобразуя приведенное выше уравнение, вязкость можно выразить следующим равенством:

$$\eta = \frac{\tau}{v_c}$$

Вязкость представляет собой касательное усилие на единицу площади, приложенное к слоям, отстоящим один от другого на расстоянии, равном единице длины при разности скоростей между ними, равной единице.

Чаще всего вязкость измеряется в пуазах (мз). Пользуются и одной сотой этой величины, которую называют сантипуазом (спз).

Пуаз имеет размерность напряжения, умноженного на время: $\text{дин} \cdot \text{сек}/\text{см}^2$.

Вязкость высоковязких жидкостей выражается в $\text{кгс} \cdot \text{сек}/\text{см}^2$.

Пример 1-5. Определить вязкость жидкости, в которой напряжение сдвига равно $13,9 \text{ кгс}/\text{см}^2$ и скорость сдвига $1084,1 \text{ сек}^{-1}$.

После подстановки этих величин в приведенное выше уравнение получим:

$$\eta = \frac{13,9}{1084,1} = 0,0125 \text{ кгс} \cdot \text{сек}/\text{см}^2$$

Графически зависимость скорости сдвига от напряжения сдвига для ньютоновских жидкостей изображается прямой. Это свидетельствует о том, что вязкость при любой скорости сдвига и любом напряжении сдвига остается постоянной. Та же зависимость для расплавов полимеров носит иной характер (рис. 1-20). Таким образом, вязкость расплава не является постоянной величиной. Она изменяется в зависимости от приложенного напряжения и, соответственно, скорости сдвига. Поэтому, когда приводятся значения вязкости расплавов полимеров, должны быть указаны соответствующие ей напряжение сдвига и скорость сдвига.

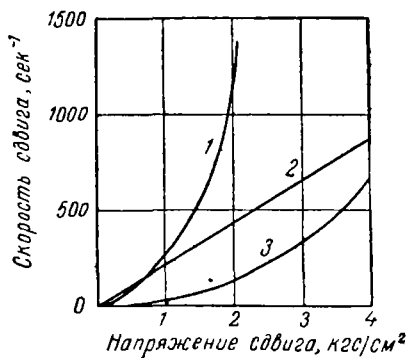


Рис. 1-20. Зависимость скорости сдвига от напряжения сдвига для расплавов полиэтилена и ньютоновских жидкостей:

1 — полиэтилен низкой плотности; 2 — ньютоновская жидкость; 3 — полиэтилен высокой плотности.

Вязкость расплавов полимеров называют эффективной вязкостью. Она зависит от температуры: уменьшается при повышении температуры. На ее величину влияет и давление, под которым находится расплав. Так, при увеличении давления от 140 до 1800 кгс/см² эффективная вязкость полиэтилена возрастает в 5 раз, а полистирола — в 135 раз.

Жидкости, не подчиняющиеся закону Ньютона, называются неньютоновскими. Математически зависимость между напряжением сдвига и скоростью сдвига для неньютоновских жидкостей выражается следующим степенным законом:

$$\tau = K \left(\frac{dv}{dy} \right)^n$$

где K и n — константы течения (их называют реологическими константами).

Эффективная вязкость в этом случае будет равна:

$$\eta = K \left(\frac{dv}{dy} \right)^{n-1}$$

Кривые зависимости между скоростью сдвига и напряжением сдвига обычно изображают в логарифмических координатах и тогда они имеют вид прямых.

Тангенс угла наклона прямой для неньютоновской жидкости является показателем степени n в уравнении степенного закона и характеризует степень отклонения вязкости этой жидкости от закона Ньютона. Коэффициент n называют индексом течения. Для ньютоновских жидкостей всегда $n=1$, а для неньютоновских $n \neq 1$. Для разных полиэтиленов n находится в пределах 1,4—2,5.

Коэффициент K характеризует консистенцию материала, т.е. свойство материала, связанное с его сопротивлением изменению формы, определяемое зависимостью скорости течения от силы.

Зависимость эффективной вязкости от скорости сдвига для полиэтилена представлена на рис. I-21*. Эффективная вязкость расплава определяет величину силы, которая должна вызвать течение. Ею же определяется и производительность процесса. Для расчетов пользуются значениями эффективной вязкости.

В качестве технической характеристики полимеров часто используют величину, обратную вязкости, — текучесть.

В технике приняты методы определения текучести полимеров в условных единицах.

* Зависимости скорости сдвига от напряжения сдвига, а также эффективной вязкости от скорости сдвига для разных полимеров приведены в книге: Э. Бернхардт, Переработка термопластичных материалов, Изд. «Химия», 1965.

Течение полимеров сопровождается возникновением эластических деформаций в расплаве, поэтому в нем появляется весь комплекс механических релаксационных явлений. Релаксация влияет на качество изделий, особенно резко она сказывается, когда охлаждение изделий протекает медленно и без давления, что часто имеет место при получении изделий выдавливанием на червячных прессах. В этом случае может произойти следующее: 1) изменятся размеры изделия по сравнению с формирующим инструментом (разбухание изделия); 2) появится шероховатость и даже бугристость на поверхности изделий и 3) исказится форма изделия.

Два последних явления известны под разными названиями: разрушение струн, нерегулярность струн и эластическая турбулентность.

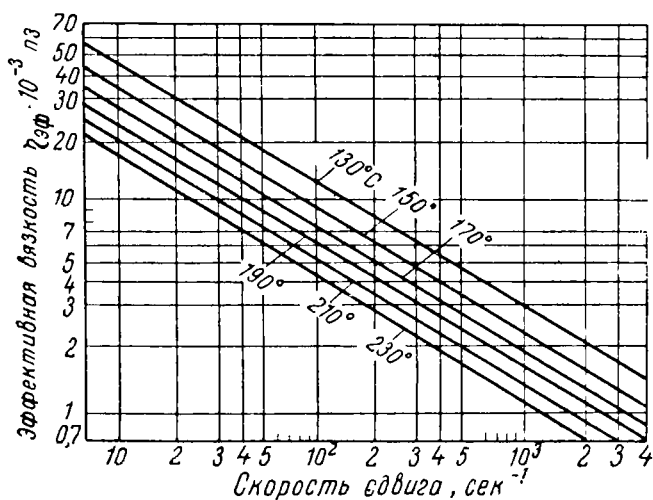


Рис. 1-21. Зависимость эффективной вязкости полиэтилена от скорости сдвига при различных температурах.

Разбухание изделий происходит под действием нормальных напряжений — перпендикулярных направлению течения. Нормальные напряжения возникают вследствие стремления ориентированных молекул перейти в ненапряженное состояние (эффект Вайссенберга).

Дефекты поверхности и искажение формы изделия являются следствием релаксации неравномерных напряжений, возникающих при неустойчивом течении. Неустойчивость течения не является следствием превращения потока из ламинарного в турбулентный. Даже в условиях, далеких от турбулентного течения, в потоке

могут появиться неравномерные напряжения, как следствие деформаций, приводящих к появлению ускорений сдвига. Искажение формы изделия при значительных напряжениях сдвига происходит, по-видимому, когда поток расплава проскальзывает на отдельных участках формирующего инструмента, при этом поток становится нерегулярным, что приводит к возникновению резко выраженных неоднородных напряжений. Напряжение и скорость сдвига, при которых появляются эти дефекты, называются критическими.

На образование названных дефектов оказывает значительное влияние угол, под которым расплав входит в формирующую щель. При этом преобразуется форма струи, трансформируется профиль скоростей и одновременно повышаются напряжение сдвига и ориентация в направлении течения. С увеличением угла входа возрастает сопротивление потоку, его величина становится минимальной при угле, не превышающем 30° . Это обстоятельство должно быть учтено при проектировании головок.

Влияние эластических свойств расплава на качество изделий велико, поэтому оценка качества полимеров только по текучести совершенно недостаточна и одновременно должна быть дана оценка эластичности расплава. Эластические свойства расплавов подробно изучаются на ряде приборов, но методика, пригодная для повседневных заводских испытаний, еще не разработана. Трудности, связанные с разработкой такой методики, вызваны тем, что эти свойства полимера зависят не только от его строения, но и условий течения, поэтому один и тот же полимер в одном процессе дает положительные результаты, а в другом — отрицательные.

До разработки метода, позволяющего определить весь комплекс реологических свойств (текучести и эластичности) полимеров, для ряда процессов неизбежно испытание технологических свойств полимеров на модельных установках.

Глава

II

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛАСТМАСС

Пластмассы, в зависимости от поведения при повышенных температурах, разделяются на термопластичные и термореактивные. *Термопластами* называются материалы, обладающие свойством размягчаться при нагревании и становиться вязко-жидкими, а при охлаждении переходить в твердое состояние без изменения первоначальных свойств.

Термореактивные материалы, называемые также *реактопластами* отверждаются при нагревании, переходя в неплавкое и нерастворимое состояние.

ТЕРМОПЛАСТЫ

При переработке термопластов методами литья под давлением, экструзии и другими большое значение имеют теплофизические свойства полимеров: текучесть, теплоемкость, теплопроводность, температура размягчения и др.

Текучесть термопластов определяют по видоизмененному способу Рашига. В прессформу, нагретую до 130°C , закладывают таблетку термопласта массой 12 г, нагревают прессформу до 150°C и подвергают давлению 600 кгс/см^2 . Засекают момент появления материала из нижнего отверстия прессформы, через 1 мин отрезают ленточку вытекшего материала и взвешивают с точностью до 1 мг. Текучесть выражают массой (в мг) материала, вытекшего за 1 сек.

Значительно полнее характеризует текучесть *индекс расплава*, равный массе материала, проходящего при 190°C через стандартное сопло за 10 мин. Широкое применение нашел метод определения индекса расплава по ASTM-1238-52T на экструзионном пластометре. Корпус пластометра (рис. II-1) представляет собой стальной цилиндр 1, внутри которого расположены два продольных канала. На поршень, помещенный в центральный канал, действует стандартный груз 5, закрепленный в верхней части поршня на втулке 3. Корпус пластометра снабжен электрообогревом с автоматическим регулированием температуры. Боковой канал цилиндра предназначен для термпары.

Режим определения индекса расплава

Индекс расплава, г/10 мин	Масса материала загруженного в цилиндр, г	Промежутки времени, сек
0,15—1,1	3—4	240
1,00—3,5	4—5	60
3,5—10	6—8	30
10—25	6—8	20

При определении индекса расплава цилиндр нагревают до $190 \pm 0,5^\circ \text{C}$, выдерживают при этой температуре 15 мин, после чего

в центральный канал загружают навеску полимера в виде гранул или порошка. Через 4 мин, когда снова установится указанная температура цилиндра, на поршень кладут груз, обеспечивающий выдавливание расплава при удельном давлении 3 кгс/см^2 .

Первую треть выдавленного расплава не учитывают. Последующие порции материала через определенные промежутки времени, соответствующие ожидаемому индексу расплава (см. таблицу), срезают и взвешивают.

Индекс расплава определяют как среднее из трех найденных его значений, причем разница между максимальным и минимальным значениями не должна превышать 10%.

Для определения текучести термопластов может служить также пластометр Вильямса ПСМ-2. Цилиндрик полимера высотой h_0 сжимается грузом при определенной температуре до величины h_1 . После снятия груза происходит частичное восстановление высоты цилиндрика до величины h_2 . Разность $(h_0 - h_1)$ характеризует текучесть, а $(h_2 - h_1)$ — эластичность полимера.

В приложении 2 приведены основные свойства ряда термопластов, а номограммы (приложение 1) позволяют

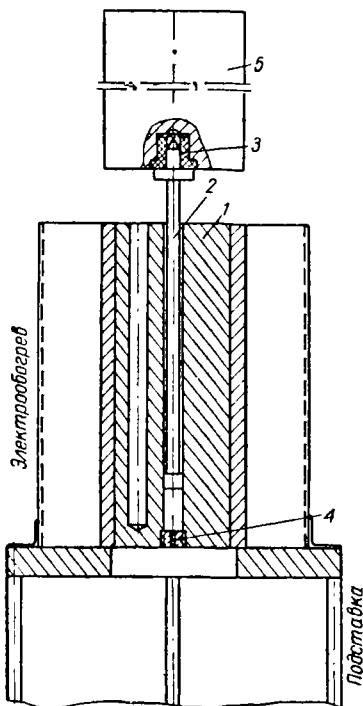


Рис. II-1. Экструзионный пластометр (по ASTM-1238-52T):

1 — цилиндр; 2 — поршень; 3 — втулка; 4 — стандартное сопло; 5 — стандартный груз (вес груза с поршнем и диском $2,16 \pm 0,01 \text{ кгс}$).

определить эффективную вязкость некоторых термопластичных материалов при различных температурах.

РЕАКТОПЛАСТЫ

При переработке реактопластов в изделия методом горячего прессования наибольшее значение имеют следующие технологические свойства материалов: удельный объем, гранулометрический состав, таблетруемость, сыпучесть, текучесть, влажность, скорость отверждения и величина усадки.

Прессматериал может применяться в виде порошка или таблеток.

Удельный объем нормируется только для порошкообразных материалов. При определении его порошок свободно, без встряхивания и постукивания, насыпают в цилиндрический сосуд емкостью 200 мл и высотой 800 мм. Избыток порошка срезают ножом и заполненный сосуд взвешивают на технических весах с точностью до 0,1 г. Удельный объем V (в мл/г) вычисляют по формуле:

$$V = \frac{200}{G}$$

где G — масса порошка, г.

Удельный объем порошка зависит от его гранулометрического состава, а последний — от технологии изготовления, в частности от качества помола, от характера и количества наполнителя.

Порошки с низким удельным объемом имеют лучшую сыпучесть. Для них применяют прессформы с меньшим объемом гнезд, что делает прессформу меньше, легче и дешевле. Феноло-формальдегидные пресспорошки имеют удельный объем 2,2—2,8 мл/г.

При конструировании прессформ учитывают также объемный коэффициент, т. е. отношение объема пресспорошка к объему полученного прессизделия.

Гранулометрический состав пресспорошка определяют просеиванием его через набор сит и определением остатка на каждом сите. Ниже приведен примерный гранулометрический состав феноло-формальдегидных пресспорошков:

№ сита	Остаток на сите, %
6	0
8	20
24	35
32	30

Неоднородность порошка по величине частиц отрицательно сказывается на точности дозирования при таблетировании и способствует неравномерному прогреву.

Сыпучесть, т. е. способность порошка равномерно высыпаться в прессформу, зависит от влажности, гранулометрического состава и угла естественного откоса материала.

Таблетруемость пресспорошка характеризует его способность уплотняться на холоду под давлением в таблетку и зависит от

гранулометрического состава, влажности, наличия пыли. Таблетированность качественно определяется пробным таблетированием.

Текучесть, т. е. способность прессматериала растекаться по прессформе, зависит от внутреннего и наружного трения и от скорости отверждения. Внутреннее трение определяется вязкостью материала при температуре прессования, оно зависит от природы и количества связующего и наполнителя, влажности материала и наличия пластификаторов. Наружное трение определяется состоянием поверхности формы, конфигурацией изделия, давлением прессования и прилипаемостью материала к прессформе. Недостаточная текучесть материала может вызвать появление брака по недопрессовке и мешает точному оформлению изделия. Однако чрезмерная текучесть также вредна, поскольку вызывает вытекание расплавленного прессматериала через зазоры прессформы.

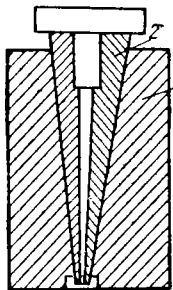


Рис. II-2.
Прессформа
Рашига:

1 — стальная
обойма; 2 —
съемный стальной
конус.

Текучесть реактопластов обычно определяют на прессформе Рашига (рис. II-2). Таблетку терморезактивного пресспорошка массой 7,5 г закладывают в прессформу, нагретую до определенной температуры, например для феноло-формальдегидных пресспорошков до 160°C . Таблетку запрессовывают при давлении 300 кгс/см^2 в течение 3 мин. Текучесть выражают длиной стержня отпрессованного образца в миллиметрах.

Наиболее полно отражает текучесть материала и продолжительность его отверждения испытание на пластометре Канавца (рис. II-3). Пластометр представляет собой вращающуюся прессформу, состоящую из двух соосных цилиндрических деталей: матрицы и штыря, имеющих рифленные поверхности для прочного сцепления с прессуемым образцом. Прессматериал загружается в полость между поверхностями матрицы и штыря и прессуется при температуре 170°C (для фенопластов) и давлении 300 кгс/см^2 .

При прессовании вращающаяся матрица передает соответствующее усилие через прессуемый материал на динамометр, причем на барабане динамометра вычерчивается на миллиметровой бумаге график изменения вязкости во времени (рис. II-4). Время отверждения определяют, опуская вертикальную линию на ось абсцисс из точки С, соответствующей вязкости $2 \cdot 10^9 \text{ нз}$, характерной для отвержденного образца. Текучесть определяют по длине участка, близкого к горизонталю.

Влажность пресспорошка обычно определяют по изменению его массы после 30 мин выдержки при 105°C . Повышенная влажность вызывает появление влаги на поверхности прессизделия и может привести к вздутиям (пузырям). Пониженная влажность обычно связана со сниженной текучестью прессматериала.

Скорость отверждения определяет продолжительность выдержки материала в прессформе под высоким давлением и поэтому в

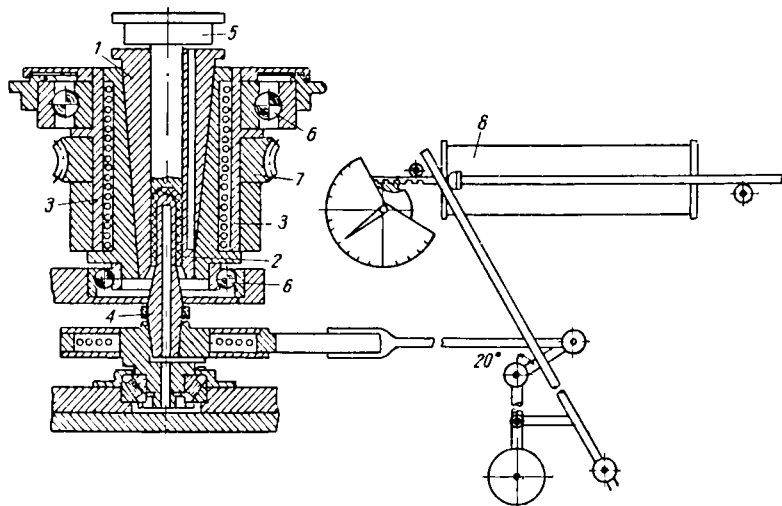


Рис. II-3. Пластометр Канавца:

1 — прессформа; 2 — испытуемый образец; 3 — электрообогрев; 4 — оформляющий штырь; 5 — пуансон; 6 — подшипник; 7 — шестерня; 8 — записывающий прибор.

большой степени влияет на производительность пресса. Выдержка складывается из времени нагревания материала до температуры прессования и времени его отверждения.

Продолжительность нагревания пресс-материала в форме зависит от его теплопроводности, теплоемкости, плотности, гранулометрического состава (для порошков) и размеров изделия. Длительность отверждения зависит от температуры прессования и состава прессматериала и не зависит от формы и размеров изделия.

На многих заводах скорость отверждения определяют по опытной запрессовке одного из выпускаемых данным заводом изделий, чаще всего стаканчика определенных размеров. Опытную запрессовку производят при удельном давлении 300 кгс/см^2 с первоначальной выдержкой 1,5 мин, причем таблетки предварительно подогревают до 180°C (для фенопластов). Если изделия получаются со вздутиями, то

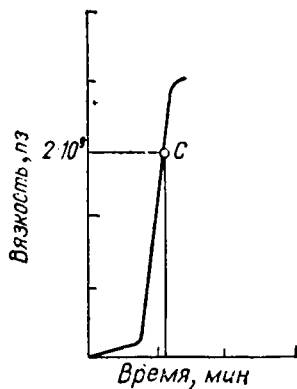


Рис. II-4. Изменение вязкости в зависимости от времени.

производят дальнейшие запрессовки, увеличивая каждый раз длительность выдержки на 10 сек до получения изделий, удовлетворяющих техническим условиям. Если выдержка в 1,5 мин дает изделия без вздутий, возможно время выдержки завышено, поэтому производят дальнейшие запрессовки, уменьшая каждый раз выдержку на 10 сек до получения изделий со вздутиями. При составлении технологического регламента учитывают ту минимальную выдержку, при которой получают изделия без вздутий.

Усадка, т. е. уменьшение размеров отпрессованного изделия при охлаждении обусловлена двумя причинами: термическим сжатием материала при охлаждении, а также уплотнением его за счет поликонденсации в процессе прессования. Термическую усадку рассчитывают по коэффициенту линейного термического расширения и температуре прессования. Так, для феноло-формальдегидных пресспорошков теоретически рассчитанная величина термической усадки составляет 0,8%, в то время как на практике она равна 0,5—1%.

Усадку определяют по формулам:

$$y_{\text{действ}} = \frac{A - b}{b}$$

$$y_{\text{расч}} = \frac{a - b}{b}$$

где $y_{\text{действ}}$ — действительная усадка;

$y_{\text{расч}}$ — расчетная усадка;

A — размер гнезда при температуре прессования;

a — размер гнезда при комнатной температуре;

b — размер изделия при комнатной температуре.

Основные свойства ряда реактопластов приведены в приложении 3.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПЛАСТМАСС

Механические
свойства

Определение предела прочности при растяжении производят на разрывной машине (рис. II-5) при температуре помещения 18—22° С и постепенном повышении нагрузки до разрушения образца, изготовленного в виде лопатки. Предел прочности при растяжении σ_p (в кгс/см²) вычисляют по формуле:

$$\sigma_p = \frac{P}{bh}$$

где P — величина разрушающей нагрузки, кгс;

b и h — соответственно ширина и толщина образца до испытания, см.

Определение предела прочности при статическом изгибе проводят на образцах в виде так называемых стандартных палочек — прямоугольных брусках размерами $120 \times 15 \times 10$ мм. Стандартную палочку помещают на опоры с округленными переходами (рис. II-6) и подвергают действию вертикальной разрушающей силы. Скорость нагружения образца v (в мм/мин) вычисляют по формуле:

$$v = \frac{ul^2}{6h}$$

где l — расстояние между опорами, мм;

h — толщина образца, мм;

u — скорость относительного удлинения поверхностных волокон образца (для пластмасс принимается равной $0,3 \text{ мин}^{-1}$).

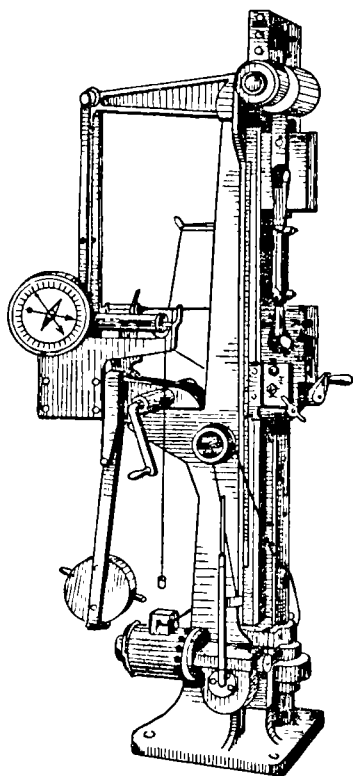


Рис. II-5. Машина для испытания пластиков на растяжение.

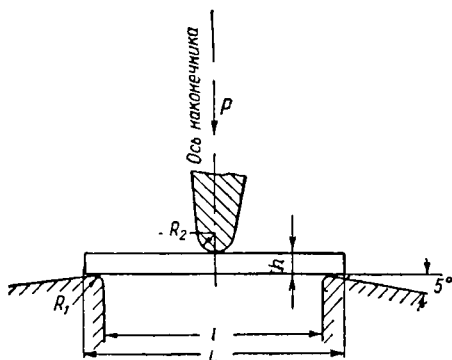


Рис. II-6. Схема испытания на изгиб.

Предел прочности при статическом изгибе σ_n (в кгс/см²) вычисляют по формуле:

$$\sigma_n = \frac{3Pl}{2bh^2}$$

где P — величина разрушающей или максимально изгибающей силы, кгс;

l — расстояние между опорами, см,

b и h — соответственно, ширина и толщина образца, см.

Если в процессе испытания образец не ломается, то за предельную прочность принимают такую нагрузку, выше которой прогиб не увеличивается.

Определение предела прочности при сжатии производят на универсальной машине Амслера. Образец, имеющий форму цилиндра или призмы стандартных размеров, подвергают действию нагрузки, возрастающей равномерно со скоростью 25 кгс/сек до его разрушения. Предел прочности при сжатии σ_c (в кгс/см²) определяют по формуле:

$$\sigma_c = \frac{P}{S}$$

где P — величина разрушающей нагрузки, кгс;

S — площадь поперечного сечения образца, см².

Определение ударной вязкости производят на маятниковом копре (рис. II-7), причем образец имеет ту же форму и размеры, что и при определении предела прочности на статический изгиб. Образец 9 располагают свободно на опорах 8. Затем осторожно поднимают маятник 3 в верхнее положение, где он удерживается собачкой 4, и, отводя последнюю, дают маятнику свободно падать. После разрушения образца маятник по инерции поднимается на некоторую высоту, измеряемую по шкале 7. Эта высота является показателем остаточной, т. е. неизрасходованной энергии маятника.

Ударную вязкость a_H (в кгс·см/см²) вычисляют по формуле:

$$a_H = \frac{A}{bh}$$

где A — работа, затраченная на разрушение образца, кгс·см;

b и h — соответственно ширина и толщина образца, см.

Рис. II-7. Маятниковый копер:

- | | |
|-------------------------|--------------|
| 1 — станина; | 2 — стойка; |
| 3 — маятник; | 4 — собачка; |
| 5 — рукоятка; | 6 — стрелка; |
| 7 — шкала; | 8 — опоры; |
| 9 — испытуемый образец. | |

Нередко ударную вязкость определяют для образцов с надрезом, причем величина ударной вязкости в этом случае значительно ниже, чем при испытании образцов без надреза. На образец наносят надрез глубиной 3,3 мм и шириной 2 мм на стороне, противоположной изгибу. Это испытание характерно для деталей с резко меняющимся профилем или имеющих местные дефекты. Методика определения удельной ударной вязкости по Изоду, применяемая в зарубежной практике, отличается тем, что образец размерами 63,5×12,7×12,7 мм закреп-

ляется на приборе консольно, после чего разрушается падением маятника с кинетической энергией от 0,7 до 2,1 кгс·см. Часто испытание производят на образцах с надрезом.

Определение твердости производят на приборе Бринеля (рис. II-8), причем образцами служат пластины или бруски материала толщиной не менее 5 мм. Метод основан на вдавливании с силой P в испытуемый образец стального шарика и вычислении твердости, равной отношению силы P к поверхности отпечатка шарового сегмента по замерам глубины отпечатка.

Испытание на приборе Бринеля проводят под действием груза, равного 50 кгс для материалов с твердостью ≤ 20 кгс/мм² и 250 кгс для более твердых материалов. Нагрузку плавно увеличивают от нуля до предельной величины в течение 30 сек и выдерживают 1 мин, после чего также плавно снимают. Глубину отпечатка измеряют через 1 мин после приложения силы и через 1 мин после снятия нагрузки с точностью до 0,01 мм.

Твердость по Бринелю H_B (в кгс/мм²) определяют по формуле:

$$H_B = \frac{P}{d h}$$

где P — усилие, прилагаемое к шарiku, кгс;

d — диаметр шарика, мм;

h — глубина отпечатка шарика, мм.

Определение отношения величины упругой и остаточной деформации H (в %) производится по формуле:

$$H = \frac{h - h_0}{h_0} \cdot 100$$

где h — глубина отпечатка при нагрузке, мм;

h_0 — глубина отпечатка после снятия нагрузки, мм.

Определение твердости эластомеров производят при помощи твердомеров ТШМ-2 и ТМ-2. На твердомере ТШМ-2 определяется глубина вдавливания шарика, а на твердомере ТМ-2 — глубина проникновения иглы в образец.

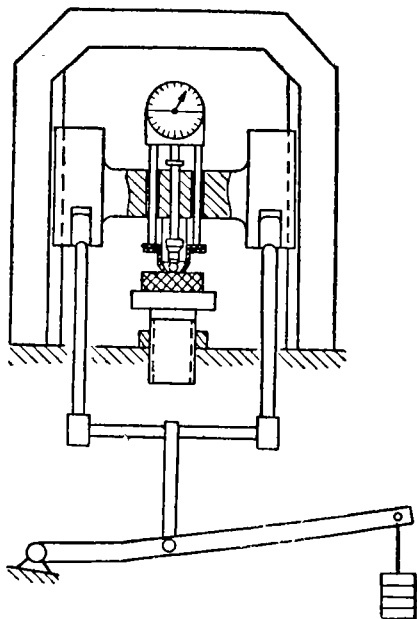


Рис. II-8. Пресс Бринеля.

Тепловые
свойства

Определение теплостойкости пластмасс можно производить по Мартенсу и по Вика.

Испытание по Мартенсу характеризует теплостойкость материала под нагрузкой. Прибор Мартенса (рис. II-9) состоит из двух зажимов 1, в которых закрепляется испытуемый образец 5, и рычага 2 с грузом 3 и указателем 4. Образец — стандартную палочку

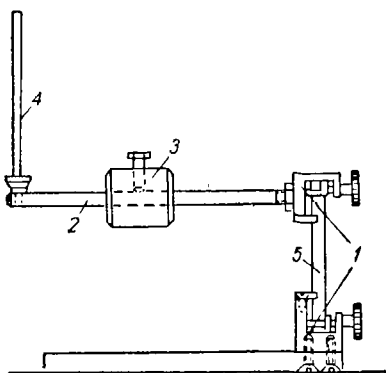


Рис. II-9. Схема прибора Мартенса для испытания на теплостойкость:

1 — зажимы; 2 — рычаг; 3 — груз; 4 — указатель; 5 — испытуемый образец.

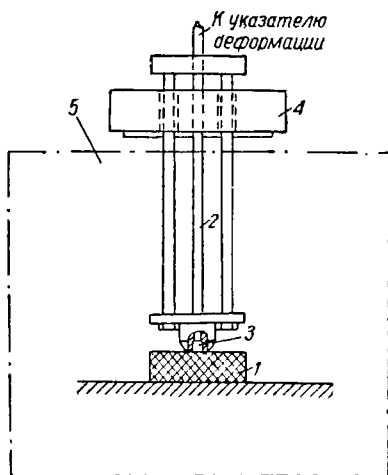


Рис. II-10. Схема прибора Вика для испытания на теплостойкость:

1 — испытуемый образец; 2 — стержень; 3 — наконечник; 4 — нагружающее устройство; 5 — термощаф.

размерами $120 \times 15 \times 10$ мм, закрепляют так, что рычаг располагается горизонтально. Прибор Мартенса помещают в термостат, в котором температура повышается на 50 град/ч. За теплостойкость принимают ту температуру, при которой стрелка указателя опустится на 6 мм.

Прибор Вика (рис. II-10) состоит из стержня 2 с наконечником 3, переходящим в иглу с площадью сечения 1 мм^2 , и нагружающего устройства 4. Прибор расположен в термощафу 5 с постоянной скоростью подъема температуры 50 град/ч. Испытанию подвергают образец в виде пластины толщиной не менее 3 мм. Теплостойкость по Вика выражают температурой, при которой игла погружается в пластмассу на 1 мм.

Методы испытания, основанные на погружении иглы (прибор Вика, твердомер ТМ-2), не пригодны для испытания неоднородных по физической структуре материалов, например стеклопластиков, так как глубина погружения иглы в связующее и стекловолокно различна.

Диэлектрические свойства

Тангенс угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg} \delta$ служит мерой способности диэлектрика рассеивать подводенную к нему энергию и тем самым характеризует диэлектрические потери пластика. Увеличение $\operatorname{tg} \delta$ свидетельствует о повышении этих потерь и, следовательно, об ухудшении диэлектрических свойств материала. Тангенс угла диэлектрических потерь определяют при помощи высоковольтного моста по ГОСТ 6433—65 (при 50 гц), а также приборов типа ИПП или куметра по ГОСТ 9141—59 (при высоких частотах).

Диэлектрическая проницаемость численно равна отношению емкости конденсатора, заполненного диэлектриком, к емкости конденсатора тех же размеров с вакуумом в качестве диэлектрика. Определение величины диэлектрической проницаемости производят при 50 и 10^6 гц при помощи тех же приборов, которые применяются для определения $\operatorname{tg} \delta$.

Удельное поверхностное сопротивление выражается величиной сопротивления, оказываемого 1 см² поверхности пластика. Его определяют с помощью образца в виде диска диаметром 100 ± 2 мм и толщиной 4 ± 2 мм или — квадратной пластины той же толщины со сторонами 100 ± 2 мм.

Схема установки представлена на рис. II-11. В заземленный металлический сосуд 3 заливают ртуть 2, на поверхность которой

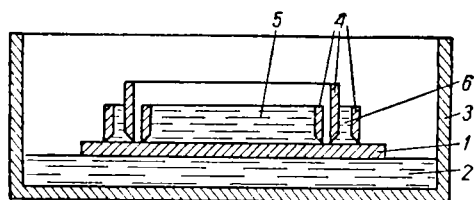


Рис. II-11. Схема устройства для испытания удельного поверхностного сопротивления:

1 — испытуемый образец; 2 — ртуть; 3 — металлический сосуд; 4 — металлические кольца; 5 и 6 — ртутные электроды.

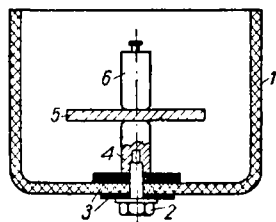


Рис. II-12. Схема испытания на электрическую прочность:

1 — стеклянный или фарфоровый сосуд; 2 — болт; 3 — асбестовые прокладки; 4 — нижний электрод; 5 — испытуемый образец; 6 — верхний электрод.

помещают образец 1. На образец укладывают концентрически три металлических кольца 4 с заостренными нижними краями. Ртуть, залитая во внутреннее кольцо, образует электрод 5, а вторым электродом 6 служит ртуть, находящаяся между наружным и средним кольцами. При подведении тока к электродам измеряется сопротивление участка поверхности образца между электродами. В связи с ядовитостью ртути часто ее заменяют металлической фольгой.

Расчет удельного поверхностного сопротивления ρ_s (в ом) производят по формуле:

$$\rho_s = R_s \frac{b}{h}$$

где R_s — общее поверхностное сопротивление, ом;

b — длина электрода, см;

h — расстояние между электродами, см.

Удельное объемное сопротивление представляет собой сопротивление 1 см³ материала. При его определении применяют такие же образец, установку и приборы, как при измерении удельного поверхностного сопротивления, но ток пропускается не по поверхности образца, а через его объем, поэтому электродами служат ртуть 2 и 5, а ртуть 6 заземляется (см. рис. II-11).

Удельное объемное сопротивление ρ_v (в ом·см) определяют по формуле:

$$\rho_v = R_v \frac{S}{h}$$

где R_v — объемное сопротивление образца, ом;

S — площадь электрода, см²;

h — толщина образца, см.

Электрическая прочность E (в кВ/мм) численно равна отношению пробивного напряжения V (в кВ) к толщине образца h (в мм):

$$E = \frac{V}{h}$$

Схема испытания представлена на рис. II-12. Применяемый образец имеет форму диска диаметром 100 ± 2 мм или квадратной пластины со сторонами 100 ± 2 мм при толщине 4 ± 2 мм. Его устанавливают между нижним электродом 4, закрепленным на дне стеклянного сосуда 1, и верхним электродом 6 в среде трансформаторного масла. Напряжение повышают со скоростью 1 кВ/сек до пробивания образца.

ПРЕССОВАНИЕ

Различают прямое и литьевое прессование.

Прямое прессование, называемое также горячим или компрессионным (в случае реактопластов), заключается в том, что пресс-материал в виде порошка или таблеток загружают в прессформу и подвергают воздействию тепла и давления. При этом он размягчается и растекается по внутренней полости прессформы, принимая ее конфигурацию. Если прессуется термореактивный материал, то он отверждается в форме под влиянием тепла и извлекается из нее в горячем состоянии. Термопластичные материалы нуждаются в охлаждении после прессования, так как в горячем состоянии они пластичны и легко деформируются.

Прессование обычно применяется для переработки термореактивных материалов. Изделия же из термопластов наиболее часто получают методом литья под давлением, а также пневмо- и вакуумформованием и экструзией. Однако в некоторых случаях термопласты тоже перерабатывают прессованием, например при получении массивных крупногабаритных изделий и т. п.

В процессе формования термореактивных материалов, например фенопластов, происходит экзотермический процесс поликонденсации, приводящий к получению неплавкого и нерастворимого продукта, имеющего пространственное строение. Тепловой эффект составляет 7,5—12 ккал на 1 кг прессизделия. Температура прессматериала повышается за счет тепла реакции на 20—35 град.

При прессовании термореактивных материалов можно выделить следующие этапы:

1. Материал находится в вязкотекучем состоянии, удобном для формования.

2. Материал отверждается до такой степени, которая достаточна для эксплуатации данного изделия. Для электродеталей бытового и общетехнического назначения необязателен полный переход полимера в трехмер. Однако для изделий, к которым предъявляют повышенные требования в отношении механических и электрических свойств, например для текстолитовых шестерен, применяемых в зубчатых передачах автомобилей и самолетов,

недопустимо наличие даже 1% несшитого полимера. Минимальным временем выдержки можно считать такое, при котором вязкость материала достигает $2 \cdot 10^9$ нз.

3. Материал отверждается полностью.

Практика показывает, что при использовании прессматериала в виде таблеток брак изделий значительно уменьшается. Таблетирование прессматериала осуществляется методом холодного прессования на таблеточных машинах. Применение таблеток вместо пресспорошка имеет следующие преимущества:

- 1) простая и быстрая дозировка;
- 2) возможность применения прессформ меньших размеров, так как таблетка имеет большую плотность, чем пресспорошок (~ 1 г/см³ вместо 0,4 г/см³), и более быстрый прогрев таблеток;
- 3) возможность предварительного подогрева таблеток при более высокой температуре, что ускоряет процесс отверждения и увеличивает производительность пресса; высокотемпературный нагрев

порошка вызвал бы его пригорание к дозировочным совкам;

4) ускорение удаления летучих при прессовании, так как в таблетке содержится меньше воздуха, чем в порошке.

Однако таблетирование не всегда целесообразно. Например, при прессовании изделий со сложной арматурой оно не применяется.

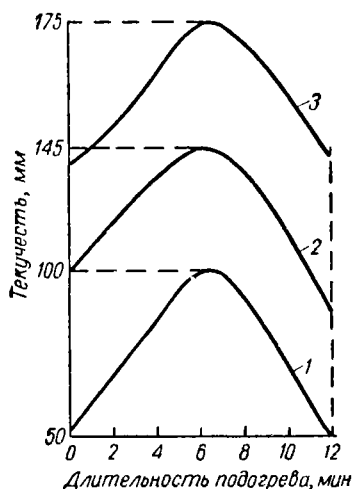
Предварительный подогрев прессматериала перед загрузкой в форму служит для повышения текучести, частичного удаления летучих и ускорения прогрева материала в форме.

На рис. III-1 показано изменение текучести пресспорошка К-18-2 при предварительном подогреве при $180 \pm 10^\circ \text{C}$. Как следует из рисунка, текучесть вначале повышается, а затем падает, что объясняется сшивкой связующего. Оптимальный режим предварительного подогрева для таблеток К-18-2 — 6 мин при 180°C .

Рис. III-1. Изменение текучести при предварительном подогреве пресспорошка К-18-2 при $180 \pm 10^\circ \text{C}$:

начальная текучесть в (мм): 1—50; 2—100; 3—140.

При предварительном подогреве резольных пресспорошков текучесть снижается сразу или некоторое время сохраняется, а затем постепенно уменьшается. Режим предварительного подогрева резольных пресспорошков иной, чем новолачных, в частности, для пресспорошка К-21-22 рекомендуется предварительный подогрев при 100°C в течение 6—9 мин.



При использовании предварительного подогрева повышаются физико-механические свойства изделия (ударная вязкость, теплоустойчивость и диэлектрические свойства), уменьшается необходимое давление прессования и ускоряется замыкание прессформы и отверждение изделия.

Литьевое (трансферное) прессование заключается в том, что прессматериал нагревается до вязкотекучего состояния в загрузочной камере (тигле) и впрыскивается через узкое сопло в оформляющие гнезда, в которых он отверждается при нагревании.

Литьевым прессованием чаще всего получают изделия из реактопластов, так как для термопластов более прогрессивной является переработка методом литья под давлением.

Ниже будет рассмотрено в основном прямое прессование.

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРЕССОВАНИЯ

К основному оборудованию для прессования следует отнести прессы, насосно-аккумуляторные установки, таблеточные машины и устройства для предварительного подогрева.

Прессы Применяемые в настоящее время прессы в зависимости от характера привода подразделяют на гидравлические и механические. В подавляющем большинстве случаев используют гидравлические прессы. В основном их классифицируют по следующим признакам:

- 1) по направлению давления — с верхним, нижним и комбинированным (верхним и боковым или верхним и нижним) давлением;
- 2) по способу крепления верхней неподвижной плиты (архитрава) — колонные и рамные;
- 3) по характеру привода — с индивидуальным и групповым приводом;
- 4) по управлению — с автоматическим, полуавтоматическим и ручным управлением.

Кроме того, прессы различаются по устройству выталкивателей, конструкции плунжеров и другим признакам.

Установка гидравлического пресса включает в себя кроме самого пресса насосы для нагнетания рабочей жидкости, приспособления для управления рабочей жидкостью, называемые дистрибуторами, и аккумуляторы (для прессов с групповым приводом).

Прессы с индивидуальным приводом работают каждый от своего насоса. Достоинством индивидуального привода является полная независимость работы каждого пресса, что особенно важно для автоматического прессования. Прессы с групповым приводом имеют общую насосно-аккумуляторную аппаратуру; их применяют при полуавтоматическом и ручном прессовании. В этом случае

электрошкаф 14, а за прессом — масляный бак, насосы, аппаратура управления.

В некоторых моделях рамного пресса установлены механические, а не гидравлические выталкиватели.

Рамные прессы проще в изготовлении и монтаже, а также дешевле, чем колонные. Однако обслуживание прессформы у них затруднено и исключена возможность увеличения высоты пресса посредством установки длинных колонн.

Для изготовления прессованием изделий, конфигурация которых не позволяет извлекать их из прессформы обычного типа, используют прессформы не только с вертикальным, но и с горизонтальным разъемом. В этих случаях применяют угловые прессы (рис. III-5). В станине 1 пресса закреплены верхний 2 и боковой 3 гидравлические цилиндры, к плунжерам которых присоединены соответственно горизонтальная 4 и вертикальная 5 подвижные плиты. Вначале замыкают прессформу горизонтальным плунжером, затем загружают прессматериал и опускают вертикальный плунжер, осуществляющий прессование. Усилие горизонтального плунжера превосходит усилие вертикального примерно в $1\frac{1}{2}$ раза для надежного закрытия прессформы. Угловой пресс имеет два дистрибутора для раздельного управления каждым цилиндром.

Плиточные этажные гидравлические прессы, применяемые для прессования листовых и пленочных материалов с получением плит, представляют собой колонные или рамные прессы. На рис. III-6 представлен типичный четырехколонный этажный пресс нижнего давления. Основными его частями являются: стальной рабочий

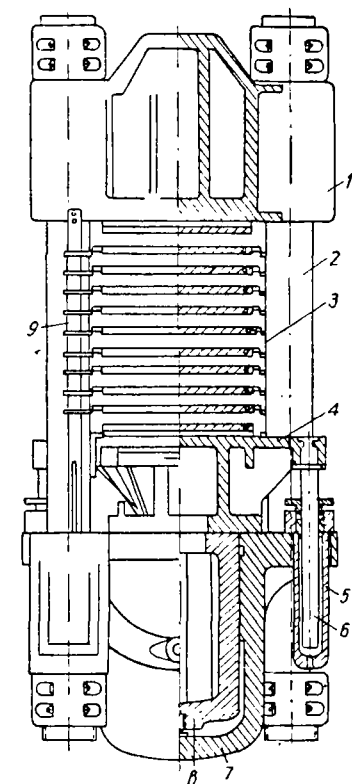


Рис. III-6. Плиточный этажный гидравлический пресс:

1 — архитрав; 2 — колонна; 3 — плита; 4 — подвижный стол; 5 — вспомогательный цилиндр; 6 — вспомогательный плунжер; 7 — рабочий цилиндр; 8 — рабочий плунжер; 9 — рейка.

цилиндр 7, полый чугунный плунжер 8, на котором закреплен чугунный стол 4, стальные плиты с каналами для обогрева и охлаждения, к которым подводят теплоносители (пар, горячую и холодную воду), стальные колонны 2 и стальной архитрав 1. Кроме основного рабочего цилиндра часто внизу располагаются два

вспомогательных цилиндра 5, служащих для подъема стола с рабочим плунжером.

Важнейшая характеристика любого пресса — усилие прессования. Различают действительное (эффективное) и номинальное усилие (тоннаж).

Номинальное усилие $Q_{\text{ном}}$ (в тс) определяется по формуле:

$$Q_{\text{ном}} = \frac{pF}{1000}$$

где p — давление рабочей жидкости в цилиндре, кгс/см^2 ;

F — площадь поперечного сечения плунжера, см^2 .

Действительное усилие $Q_{\text{д}}$ вычисляется по формуле:

$$Q_{\text{д}} = Q_{\text{ном}} - p_{\text{тр}} + p_{\text{прот}}$$

где $p_{\text{тр}}$ — потери усилия на трение в рабочем цилиндре и цилиндрах обратного действия;

$p_{\text{прот}}$ — противодействие в цилиндрах обратного действия.

Практически потери усилия на трение и противодействие составляют $\sim 15\%$ от номинального усилия.

Перемещение плунжеров во всех цилиндрах пресса производится посредством рабочей жидкости — воды, масла или эмульсии. Самая дешевая рабочая жидкость — вода. Однако применяют ее редко, так как она плохо уплотняется и оказывает коррозионное действие на аппаратуру. Наиболее удобно в технологическом отношении масло. Его широко используют в прессах с индивидуальным приводом. Эмульсия, приготовляемая смешением эмульгирующих препаратов с водой, широко применяется в прессовых установках с групповым приводом.

Для прессов с небольшим расходом рабочей жидкости применяют обычно только высокое давление — 200 и 320 кгс/см^2 , а при значительном расходе рабочей жидкости — двухступенчатое давление — 320 или 200 кгс/см^2 (высокое) и 8 кгс/см^2 (низкое). Трехступенчатое давление (200 кгс/см^2 , 50 кгс/см^2 и атмосферное) в настоящее время используют редко.

Двухступенчатое давление экономичнее одноступенчатого, так как жидкость высокого давления частично заменяется жидкостью низкого давления, требующей меньшего расхода энергии.

Прессы имеют ручное, полуавтоматическое и автоматическое управление.

Ручное управление применяется сравнительно редко — на небольших предприятиях. Оно осуществляется посредством шпиндельных, золотниковых и клапанных дистрибуторов (распределителей).

Четырехшпиндельный дистрибутор (рис. III-7) представляет собой стальную коробку, разделенную на две секции. В каждой из них имеется горизонтальный канал, соединяющий один из

цилиндров пресса через два вертикальных канала с трубопроводами высокого и низкого давления. В каждом вертикальном канале имеется шпindel, который при ввинчивании входит в горизонтальный канал, отделяя рабочую жидкость от полости цилиндра пресса, или, наоборот, может выходить из вертикального канала, соединяя цилиндр с трубопроводом высокого или низкого давления. Таким образом, на каждый цилиндр пресса, рабочий и

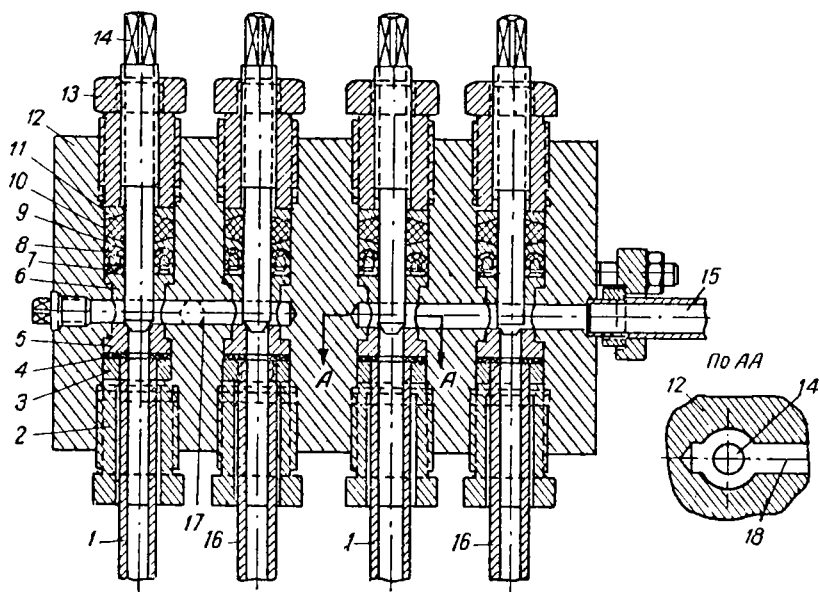


Рис. III-7. Четырехшпindelный дистрибутор (распределитель):

1 — трубопровод высокого давления; 2 — резьбовой штуцер; 3 — направляющая колонка; 4 — кожаная прокладка; 5 — седло; 6 — направляющая втулка; 7 — кольцо в манжете; 8 — манжета; 9 — кольцо из манжет; 10 — набивка; 11 — сальник; 12 — корпус; 13 — грандбукса шпинделя; 14 — шпindel; 15 — трубопровод для присоединения к цилиндру; 16 — трубопровод низкого давления; 17 — отверстие для выхода жидкости к трубопроводу, соединенному с цилиндром пресса; 18 — горизонтальный канал.

выталкивающий, приходится два шпинделя. Кроме того, два шпинделя в отдельной коробке обслуживают одновременно два ретурных цилиндра (обратного действия); поэтому гидравлические прессы с управляемыми ретурными цилиндрами снабжены 6-шпindelными дистрибуторами. Ретурные цилиндры в таких случаях могут сообщаться с трубопроводами как высокого, так и низкого давления. Если же ретурные цилиндры постоянно соединены только с трубопроводом высокого давления, то они называются неуправляемыми. В этом случае используют 4-шпindelный дистрибутор. При неуправляемых цилиндрах нужно применять рабочую жидкость низкого давления (50 кгс/см^2 или 20 кгс/см^2), так

как иначе (при 8 кгс/см^2) противодействие в ретурных цилиндрах превосходило бы давление рабочего плунжера, находящегося под действием жидкости низкого давления, и последний не мог бы опускаться. Однако такие системы применяются значительно реже, чем системы с давлением на 200 кгс/см^2 . Обслуживание шпиндельных дистрибуторов весьма трудоемко, что является их основным недостатком.

Клапанные распределители бывают различных систем. В распределителях ручного управления прессовщик поворотом рычага закрывает или открывает требуемый клапан.

Значительно большее распространение получили соленоидные клапанные распределители, применяющиеся при полуавтоматическом управлении. Соленоидный клапан показан на рис. III-8. Корпус 1, в котором по вертикали перемещается поршень-клапан 2,

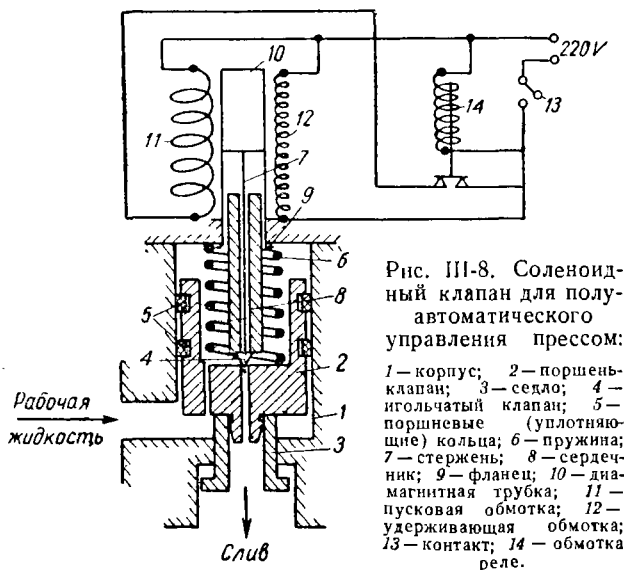


Рис. III-8. Соленоидный клапан для полуавтоматического управления прессом:

1 — корпус; 2 — поршень-клапан; 3 — седло; 4 — игольчатый клапан; 5 — поршневые (уплотняющие) кольца; 6 — пружина; 7 — стержень; 8 — сердечник; 9 — фланец; 10 — диаманитная трубка; 11 — пусковая обмотка; 12 — удерживающая обмотка; 13 — контакт; 14 — обмотка реле.

снабжен уплотняющими кольцами 5. В поршне-клапане имеются центральный широкий канал, перекрываемый игольчатым клапаном 4, и постоянно открытый узкий боковой канал. На стержень игольчатого клапана свободно надет стальной сердечник 8, выступающий из корпуса в диаманитную трубку 10, вокруг которой расположена соленоидная катушка. При выключении соленоида игольчатый клапан закрывает центральный канал. Давление жидкости снизу и сверху одинаково, но сверху давит пружина 6 и поршень-клапан удерживается в нижнем положении на седле 3, закрывая выход рабочей жидкости. При включении соленоида он

втягивает вверх сердечник, который поднимает игольчатый клапан за бурт стержня 7 и открывает таким образом центральный канал. Рабочая жидкость над поршнем-клапаном сообщается с областью пониженного давления, поэтому он поднимается вверх, открывая выход рабочей жидкости. При выключении соленоида стержень опускается под влиянием силы тяжести, опускается также игольчатый клапан, закрывая центральный канал, давление снизу и сверху поршня-клапана выравнивается, и он опускается вниз, закрывая выход жидкости.

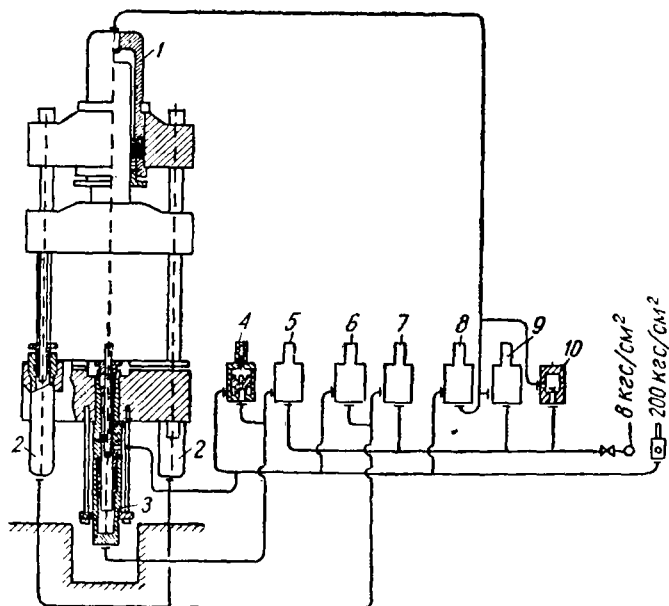


Рис. III-9. Схема полуавтоматического управления прессом с помощью соленоидных клапанов:

1 — рабочий цилиндр; 2 — ретурные (обратного действия) цилиндры; 3 — выталкивающий цилиндр; 4—9 — соленоидные клапаны; 10 — обратный клапан рабочего цилиндра.

Полуавтоматическое управление работой пресса осуществляется установкой шести соленоидных клапанов (рис. III-9). Клапан 9 служит для спуска жидкости из рабочего цилиндра 1, а клапан 8 — для впуска жидкости в него. Соответственно клапаны 4 и 5 предназначены для впуска и слива рабочей жидкости в выталкивающем цилиндре 3. С помощью клапанов 6 и 7 осуществляют впуск и слив жидкости в цилиндрах 2. Управление работой пресса происходит следующим образом. Вначале включается и срабатывает

клапан 7, соединяющий цилиндры 2 с линией низкого давления, — рабочий плунжер опускается, жидкость низкого давления заполняет рабочий цилиндр через обратный клапан 10. Рабочая жидкость из ретурных цилиндров в это время передавливается в линию низкого давления ретурными плунжерами. Когда рабочий плунжер и подвижная плита опустятся настолько, что начнется смыкание прессформы, подвижная плита действует на переключатель, включающий клапаны 8 и 6 и реле времени. Через клапан 8 в рабочий цилиндр подается рабочая жидкость высокого давления, что приводит к окончательному смыканию прессформы и прессованию материала. Посредством клапана 6 линия высокого давления соединяется с цилиндрами обратного действия (ретурными).

Длительность прессования, т. е. выдержка под давлением, регулируется с помощью реле времени. Когда выдержка закончена, отключается клапан 8 и включается клапан 9, который соединяет рабочий цилиндр с линией низкого давления. Одновременно отключается клапан 7 и включается клапан 6, что вызывает разъем прессформы и дальнейший подъем подвижной плиты. Если необходимы подпрессовки, то переключение клапанов производится так же, как и при раземе прессформы, с дальнейшим переводом на полное смыкание прессформы при высоком давлении.

Золотниковые распределители в настоящее время применяются в основном для прессов с индивидуальным приводом и работают с использованием масла в качестве рабочей жидкости.

Двухходовой золотниковый распределитель (рис. III-10) состоит из чугунной золотниковой втулки 1, в которой перемещается в крайнее правое и крайнее левое положения цилиндрический золотник 2, имеющий одну или две кольцевые выточки. Внутренняя поверхность втулки также имеет кольцевые выточки в месте входа трубопроводов. Передвижение золотника происходит под давлением масла, подаваемого переключателями (пилотами). Пилот представляет собой поршень или вспомогательный золотник, состоящий из корпуса 3, в котором расположен собственно

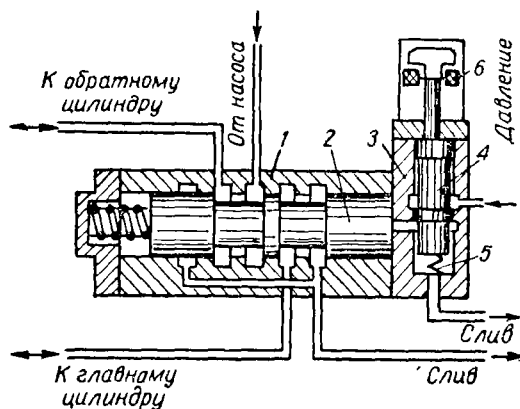


Рис. III-10. Двухходовой золотниковый распределитель:

1 — чугунная втулка; 2 — золотник; 3 — переключатель (пилот); 4 — поршень пилота; 5 — пружина пилота; 6 — электромагнит пилота.

золотник 4 (поршень), удерживаемый пружиной 5 в верхнем положении. При включении электромагнита 6 поршень перемещает вниз сердечник и вместе с ним золотник, сжимающий пружину. При этом масло подается к торцу главного золотника и сдвигает его влево, сжимая пружину и соединяя насос с рабочим цилиндром пресса. При выключении электромагнита пружина поднимает золотник переключателя в верхнее положение, прекращая доступ масла к торцу главного золотника, который под действием пружины возвращается в правое положение. В некоторых конструкциях с левой стороны главного золотника вместо пружины расположен второй пилот. Кроме двухходовых применяются трехходовые и четырехходовые золотники.

Золотниковое управление автоматическим прессом осуществляется по следующей схеме (рис. III-11). При включении электромагнитов 2С и 3С золотник клапана 18 перемещается вправо, а золотник клапана 17 опускается. Масло нагнетается при этом спаренными насосами 1 через клапан 19 (сжимая в нем пружину), клапан 18 и клапан предварительного заполнения 13 в рабочую полость цилиндра 11. Масло из штоковой полости этого цилиндра выдавливается в бак через клапаны 18 и 2. Удельное давление масла в штоковой полости превышает удельное давление в рабочей полости, и поэтому, поступая через отверстие 6 в нижнюю часть клапана 13, масло поднимает поршень клапана, открывая вход маслу из бака 12 в рабочую полость главного цилиндра 11, что ускоряет опускание рабочего плунжера. При начальном смыкании прессформы вес подвижных частей пресса — рабочего плунжера, подвижной плиты 9 и верхней части прессформы — воспринимает прессматериал, что уменьшает давление масла в штоковой полости; клапан 13 закрывается, и дальнейшее поступление масла производится только от насоса 1. Когда в гидравлической системе установится определенное промежуточное давление, на которое отрегулирована пружина клапана 16, последний открывается и нагнетаемое насосом масло сливается в бак. При этом прессформа находится в состоянии предварительной выдержки, что облегчает удаление летучих из прессматериала. Затем происходит полное смыкание прессформы и выдержка при высоком давлении, величина которого регулируется пружиной клапана 15. По окончании выдержки при высоком давлении включается электромагнит 4С, золотник клапана 18 перемещается в левое крайнее положение, пропуская масло от насоса в штоковую полость рабочего цилиндра через отверстие а, причем масло из рабочей полости сливается в бак через клапаны 13, 18 и 2. Повышение давления в штоковой полости вызывает поднятие поршня клапана 13, и масло из рабочей полости передается непосредственно в бак 12. Когда рабочий плунжер поднимается в исходное положение, штоковая полость соединяется через отверстие в и трубопровод 14 с рабо-

чей полостью, и плунжер останавливается. Для подъема выталкивателя выключается электромагнит $4C$ и включается электромагнит $5C$, золотник 18 устанавливается в среднем положении, а золотник 2 перемещается вправо. Масло от насоса через клапаны 19 ,

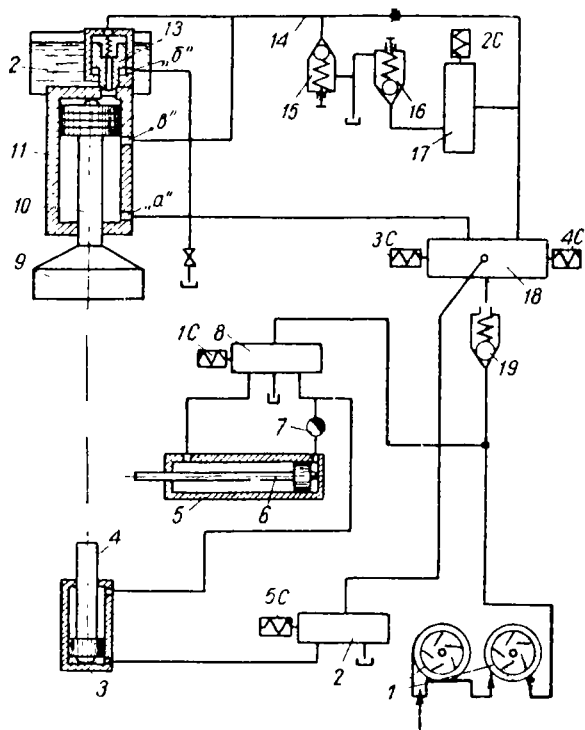


Рис. III-11. Схема золотникового управления автоматическим прессом:

1—спаренный лопастной насос; 2, 8, 13, 15—19—клапаны; 3—цилиндр выталкивателя; 4—выталкиватель; 5—цилиндр питателя; 6—плунжер питателя; 7—дроссельный вентиль; 9—подвижная плита; 10—главный (рабочий) плунжер; 11—главный цилиндр; 12—бак; 14—трубопровод; 1C—5C—электромагниты клапанов; а, б, в — отверстия.

18 и 2 поступает в рабочую полость цилиндра выталкивателя 3 , а масло из штоковой полости через клапан 8 сливается в бак. Вытолкнутое из прессформы изделие сбрасывается на автоматические весы сжатым воздухом, подаваемым через электроуправляемый клапан (на схеме не показан). Затем выключается электромагнит $5C$, включается электромагнит $1C$, рабочая полость цилиндра 3 соединяется с насосом, а штоковая — со сливным баком,

и выталкиватель опускается. Одновременно плунжер 6 перемещается влево, производя загрузку прессформы прессматериалом. Дроссельный клапан 7 служит для регулировки скорости перемещения плунжера. После загрузки материала выключается электромагнит 1С, и плунжер питателя возвращается в исходное положение.

Для подачи рабочей жидкости при высоком давлении (200 кгс/см^2 и 320 кгс/см^2) применяют горизонтальные и вертикальные насосы плунжерного (скальчатого) типа или ротационные насосы. Рабочая жидкость низкого давления — обычно 8 кгс/см^2 — также вырабатывается насосами и получается как отработанная жидкость высокого давления.

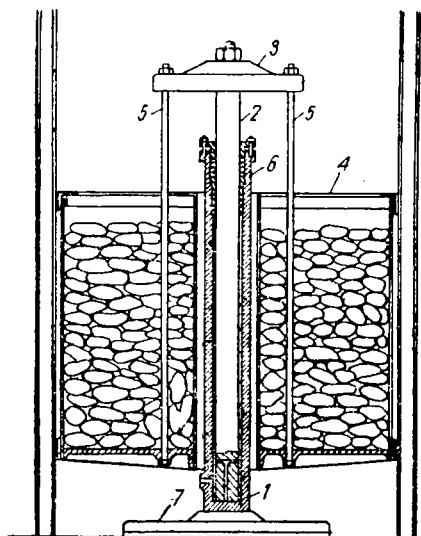


Рис. III-12. Грузовой гидравлический аккумулятор:

1 — цилиндр; 2 — плунжер; 3 — верхняя плита; 4 — коробка с грузом; 5 — тяги; 6 — уплотнение; 7 — фундаментальная плита.

верхняя плита (траверза) 3, к которой подвешена на тягах 5 коробка 4 с грузом. При избытке рабочей жидкости в сети плунжер поднимается вместе с грузом. При недостатке рабочей жидкости он опускается.

Величина груза G (в кгс) определяется по формуле:

$$G = \frac{\pi d^2}{4} p$$

где d — диаметр плунжера, см ;

p — удельное давление рабочей жидкости, кгс/см^2 .

Используют также грузовые аккумуляторы, у которых плунжер расположен внизу и закреплен неподвижно, а цилиндр передвигается.

Грузовые аккумуляторы просты по устройству и поддерживают равномерное давление в сети, но они громоздки и при значительном расходе рабочей жидкости, например при аварии сети, могут вызвать быструю посадку движущейся части, что связано с расшатыванием фундамента и возможностью несчастного случая. Применяют их при сравнительно небольшом количестве прессов.

Пневматические аккумуляторы (рис. III-13), называемые также воздушно-беспоршневыми, состоят из одного гидравлического 2

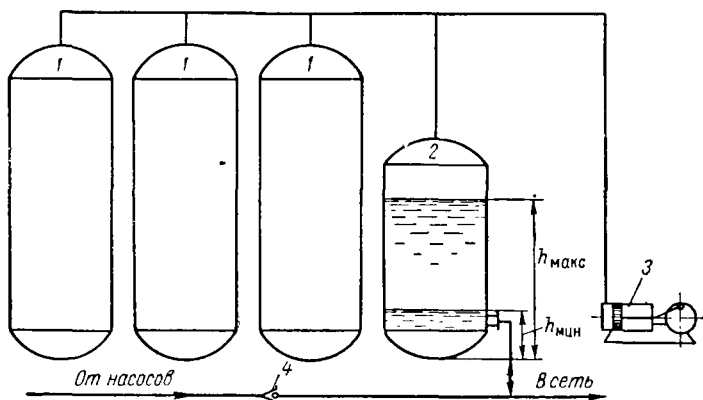


Рис. III-13. Пневматический аккумулятор:

1 — баллоны для воздуха; 2 — гидравлический баллон; 3 — компрессор для напоянения и подкачки баллонов; 4 — обратный клапан.

и двух-трех пневматических 1 баллонов, заполненных сжатым воздухом. При небольшом объеме производства устанавливается один пневмогидравлический баллон, в нижней части которого находится рабочая жидкость, а в верхней — сжатый воздух. Эти аккумуляторы компактнее грузовых, не имеют движущихся частей и не нуждаются поэтому в уплотнениях. Однако вследствие легкой сжимаемости воздуха давление в них изменяется обычно до 10%.

Грузовые и пневматические аккумуляторы применяются в сетях высокого и низкого давления жидкости. Они снабжены приспособлениями, определяющими максимальную и минимальную высоту расположения поршня (или цилиндра) в грузовых аккумуляторах и рабочей жидкости — в пневматических.

На рис. III-14 представлена типовая схема насосно-аккумуляторной установки, работающей на давлениях 8 и 200 или

320 кгс/см². Рабочая жидкость высокого давления подается в сеть насосами 1, один из которых является резервным. С линией высокого давления соединены аккумулятор высокого давления 10 и дистрибутор 11, управляющий поступлением рабочей жидкости высокого и низкого давления в пресс и из него. Дросселированная

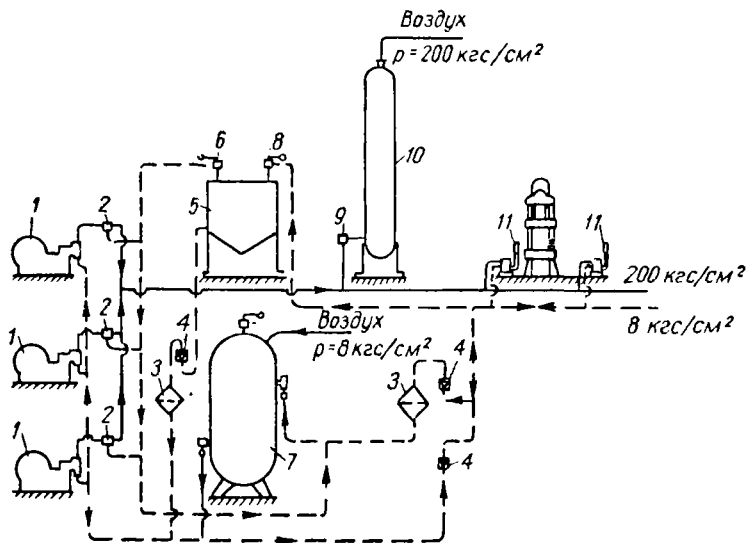


Рис. III-14. Схема насосно-аккумуляторной установки:

1 — насосы; 2 — обводный вентиль; 3 — фильтр; 4 — обратный клапан; 5 — резервуар гидравлической жидкости; 6 и 8 — предохранительные клапаны; 7 — пневматический аккумулятор; 9 — запорный вентиль; 10 — пневматический аккумулятор высокого давления; 11 — дистрибутор.

жидкость из пресса поступает в сеть низкого давления, с которой соединен аккумулятор низкого давления 7 и фильтры 3, очищающие рабочую жидкость от частиц изношенного уплотнения.

Таблеточные машины

Таблетирование порошков является предварительной операцией в процессе прессования. Основное применение для таблетирования нашли эксцентриковые, ротационные и гидравлические машины. Прессматериалы с длинноволокнистым наполнителем таблетировать только на последних.

Эксцентриковая таблеточная машина работает по следующей схеме (рис. III-15). Пуансон 3 получает возвратно-поступательное движение по вертикали от электродвигателя 12 через клиноременную и зубчатую передачи, главный вал 4 и шатун 5. Через эксцентрики 6 и 7 главный вал приводит в действие загрузочное устройство 9 и выталкиватель 8. Пресспорошок заполняет мат-

рицу 1 через бункер 2 и загрузочное устройство 9, после чего прессуется при опускании пуансона. Готовая таблетка выталкивается и сбрасывается в тару устройством 9. Эксцентриковые таблеточные машины изготавливаются также многогнездными — обычно 2 и 3 гнезда.

Ротационные таблеточные машины бывают одно- и многопозиционными. В однопозиционной машине за каждый оборот ротора происходит один цикл прессования таблеток, а в многопозиционной — несколько.

На рис. III-16 представлена развернутая схема работы двухпозиционной ротационной машины. Ротор 16 приводится во вращение от электродвигателя 1 через клиноремennую передачу 20 и червяк 19. На окружности ротора расположены матрицы, в которые засыпается пресспорошок из двух бункеров. Над матрицами и под ними расположены пуансоны — верхние 12 и нижние 10. Вертикальное перемещение пуансонов происходит посредством их скольжения по направляющим — копирам. На участке копиров 7 и 9 происходит окончательная дозировка порошка, на участке копиров 6 и 13 порошок уплотняется, под давлением пуансонов и роликов 4 и 14 прессуется с образованием таблетки, которая далее выталкивается нижним пуансоном.

На рис. III-17 представлена схема работы гидравлической таблеточной машины. Пресспорошок загружается через бункер 3 между торцами подвижного 5 и неподвижного 1 пуансонов в подвижную матрицу 4 (положение а). Дозировка порошка осуществляется при горизонтальном перемещении матрицы и бункера (положение б). Затем пуансон 5 движется влево под действием плунжера 6 и производит прессование (таблетирование) порошка (положение в). После запрессовки матрица с бункером перемещаются в крайнее левое положение при одновременном отводе вправо подвижного пуансона, и таблетка падает под действием тяжести или сдувается сжатым воздухом (положение г).

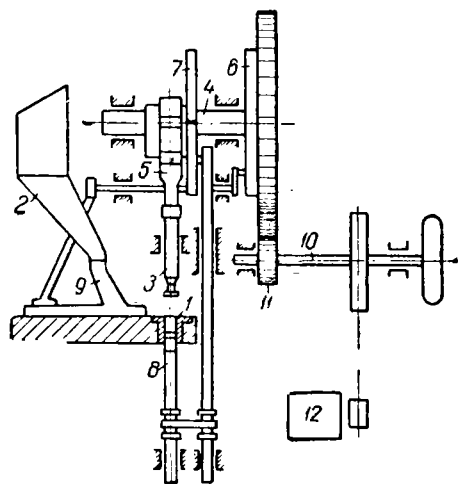


Рис. III-15. Кинематическая схема эксцентриковой таблеточной машины:

1 — матрица; 2 — бункер; 3 — пуансон; 4 — главный вал; 5 — шатун; 6, 7 — эксцентрики; 8 — выталкиватель; 9 — загрузочное устройство; 10 — вал привода; 11 — зубчатая передача; 12 — электродвигатель.

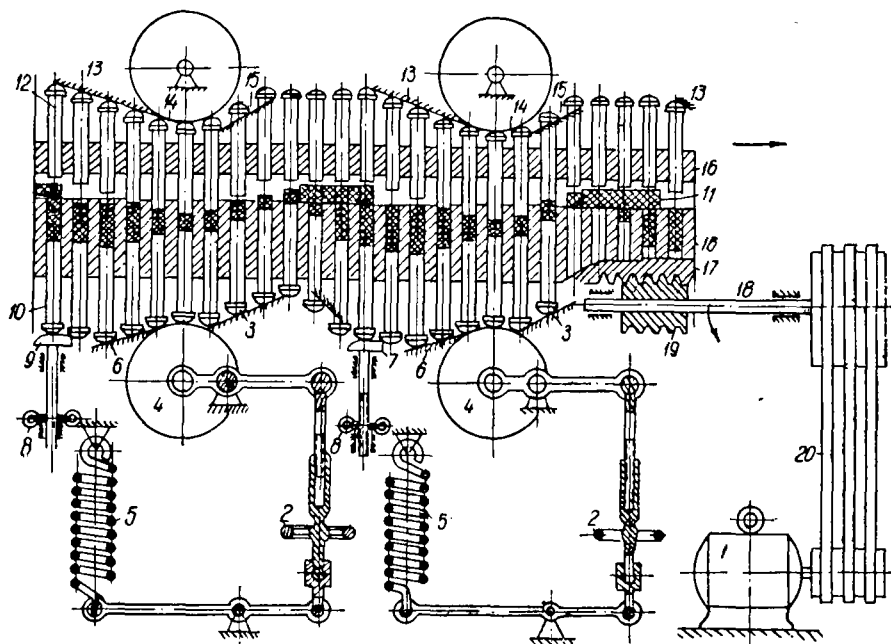


Рис. III-16. Развернутая схема работы двухпозиционной ротационной таблеточной машины:

1 — электродвигатель; 2 — маховик регулятора давления; 3, 15 — копиры выталкивателя; 4, 14 — ролики; 5 — пружины; 6, 13 — прессующие копиры; 7, 9 — дозировочные копиры; 8 — маховик регулятора высоты таблеток; 10 — нижний пуансон; 11 — распределитель порошка с барьером для сталкивания готовых таблеток; 12 — верхний пуансон; 16 — ротор; 17 — червячный венс; 18 — вал; 19 — червяк; 20 — клиноременная передача.

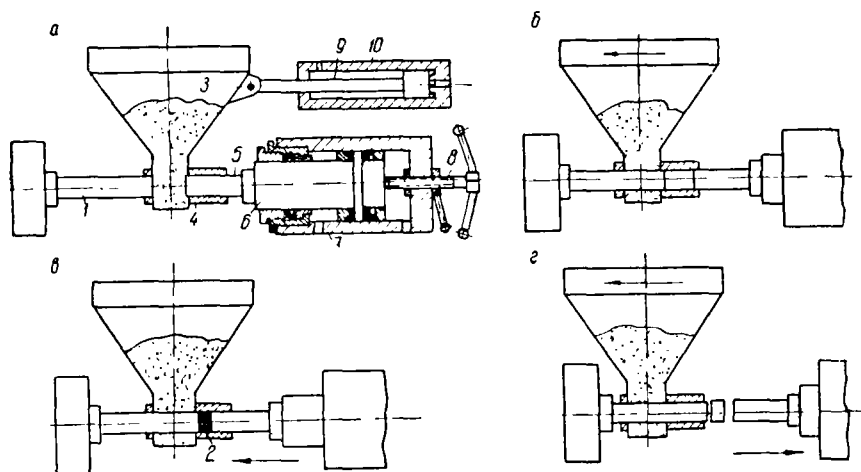


Рис. III-17. Схема работы гидравлической таблеточной машины;

а — загрузка порошка; б — заполнение матрицы; в — прессование; г — выталкивание; 1 — неподвижный пуансон; 2 — таблетка; 3 — бункер-питатель; 4 — матрица; 5 — подвижный пуансон; 6, 9 — дифференциальные плунжеры; 7, 10 — гидроцилиндры; 8 — регулировочный винт.

Гидравлические таблеточные машины пригодны для всех пресс-материалов, в том числе волокнитов, а также высокодисперсных материалов. На них можно получать таблетки постоянной массы и больших размеров.

Производительность Q (в кг/ч) эксцентриковых и гидравлических таблеточных машин определяется по формуле:

$$Q = 60Gmn$$

а ротационной машины — по формуле:

$$Q = 60GNkn$$

где G — масса одной таблетки, кг;

N — количество матриц в роторе;

m — количество гнезд в матрице;

k — коэффициент многопозиционности ($k = 1 \div 4$);

n — количество оборотов ротора или количество рабочих ходов пуансона в эксцентриковой и гидравлической машинах в 1 мин.

Удельные давления таблетирования приведены в табл. III-1.

Таблица III-1
Удельные давления таблетирования (в кгс/см²)

Материал	Удельные давления для различных типов таблеточных машин		
	гидравлическая	эксцентриковая	ротационная
Фенопласт	400—600	600—800	800—1000
Аминопласт	700—900	800—1200	1200—1800

Устройства предварительного подогрева

Предварительный подогрев прессматериала осуществляют различными способами. Наиболее прост подогрев в электрическом шкафу, внутри которого расположена металлическая коробка, обмотанная электроспиралью и изолированная асбестом. Прессматериал — порошок или таблетки — закладывают внутрь коробки. Подогрев в шкафу происходит медленно и не обеспечивает равномерного прогрева прессматериала, например при температуре шкафа и поверхности таблеток, равной 160—180°С, температура внутри таблетки составляет всего 100—110°С.

Наиболее эффективен высокочастотный (диэлектрический) подогрев таблеток. Установка для подогрева токами высокой частоты представляет собой шкаф, состоящий из электрической части и камеры, в которой между электродами закладывается

прессматериал. В электрической части шкафа осуществляется преобразование тока низкой частоты (50 гц) в высокочастотный (20—30 Мгц).

Сущность диэлектрического подогрева заключается в том, что полярные молекулы прессматериала-диэлектрика меняют свое направление в соответствии с изменением направления электрического поля. При вращении молекул диэлектрика тепло от их взаимного трения выделяется равномерно по всей массе материала. Помимо равномерности и большой скорости подогрева, достоинством этого метода являются: легкая регулировка и автоматизация, сокращение времени замыкания прессформы и выдержки в ней прессизделия, а также улучшение физико-механических свойств изделия. Основные недостатки высокочастотного подогрева: дороговизна метода вследствие сложности установки и невысокого к.п.д. ($\sim 50\%$), невозможность преждевременного отверждения прессматериала при небольшой передержке его под нагревом и опасность, связанная с применением тока высокого напряжения.

Рекомендуется загружать в генератор таблетки одинаковой высоты, чтобы величина воздушного зазора между таблетками и верхним электродом также была одинаковой.

Подогрев новолачных таблеток в высокочастотном генераторе можно проводить при 150—170°С в течение 1,5 мин, но в каждом конкретном случае режим подогрева должен соответствовать условиям процесса прессования, например, если загрузка прессформы занимает много времени, то прессматериал нужно прогревать при более низкой температуре, чтобы избежать преждевременного отверждения.

Продолжительность высокочастотного нагрева какого-либо материала и, соответственно, целесообразность этого метода можно определить посредством фактора диэлектрических потерь:

$$K = \epsilon \operatorname{tg} \delta$$

где ϵ — диэлектрическая проницаемость;

$\operatorname{tg} \delta$ — тангенс угла диэлектрических потерь.

Обозначая через $\tau_{\text{изв}}$ — известное время подогрева какого-либо полимера и через $\tau_{\text{иск}}$ — искомую продолжительность подогрева данного полимера, применяем формулу:

$$\frac{\tau_{\text{иск}}}{\tau_{\text{изв}}} = \frac{\frac{1}{K_{\text{иск}}}}{\frac{1}{K_{\text{изв}}}}$$

Например, требуется определить применимость диэлектрического нагрева для полистирола, у которого $\epsilon = 2,5$ и $\operatorname{tg} \delta = 0,0001$ при 10⁶ гц. В качестве известного материала принимаем феноль-

ный пресспорошок К-18-2, для которого $\varepsilon=6\div 7$ и $\operatorname{tg} \delta=0,7$, т. е. округленно можно принять $K=5$. Длительность диэлектрического подогрева пресспорошка К-18-2 по практическим данным составляет 0,5 мин:

$$\frac{\tau_{\text{пол}}}{\tau_{\text{фен}}} = \frac{\frac{1}{K_{\text{пол}}}}{\frac{1}{K_{\text{фен}}}}$$

$$\tau_{\text{пол}} = 0,5 \cdot \frac{1}{\frac{0,0001 \cdot 2,5}{5}} = 10\,000 \text{ мин}$$

Отсюда ясна практическая неприменимость диэлектрического подогрева для полистирола и других неполярных полимеров.

ПРЕССФОРМЫ

В процессе работы прессформы подвергаются воздействию высоких температур, давлений, истирающих усилий и коррозионному воздействию перерабатываемых материалов. Поэтому их изготовляют из сталей повышенной твердости и химической стойкости, например, хромо-никелевых сталей различных марок.

При изготовлении прессформ механическим способом стальная заготовка подвергается соответствующей механической обработке на токарных, строгальных и других станках. Прессформы сложных конструкций изготовляют на копировальных станках, работа которых основана на использовании шаблонов из свинца, гипса и других легкоформуемых материалов. По поверхности шаблона скользит шуп, а через сложный механизм передачи резец станка воспроизводит форму шаблона. Нередко применяют метод выдавливания формы из мягкой стали штампами повышенной твердости.

Полученная тем или другим способом оформляющая деталь подвергается закалке, шлифовке и полировке. Для придания ей поверхностной твердости применяют также азотирование. Поверхность прессформы хромируют. Это придает ей повышенную твердость и химическую стойкость.

При изготовлении прессформ гальваническим методом делают восковую модель, с которой получают гипсовый снимок. По этому снимку отливают модель из эпоксидной смолы. На нее напыляют тонкий слой меди или серебра, служащий в дальнейшем катодом — в гальванической ванне на нем осаждается сначала никелево-кобальтовый сплав, а затем — слой меди. Металлическая заготовка снимается с эпоксидной модели и впрессовывается в стальную обойму.

Детали прессформ разделяются на технологические, или оформляющие, конструктивные и нагревательные.

Оформляющие детали

Оформляющими называются те части прессформы, которые непосредственно соприкасаются с прессуемым материалом. Основными из них — матрица и пуансон.

Матрица — заглубленная часть прессформы, оформляющая наружную поверхность изделия. Она обычно располагается внизу, но при так называемом обратном прессовании — сверху (рис. III-18).

Матрицы разделяются на цельные, представляющие собой одну деталь, и составные, собранные из нескольких деталей, скрепленных между собой. Неразъемные матрицы (при неразъемном скреплении) применяются для изделий без поднутрений, т. е. свободно

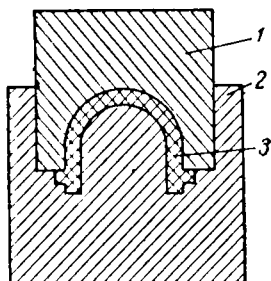


Рис. III-18. Схема обратного прессования:

1 — матрица; 2 — пуансон;
3 — изделие.

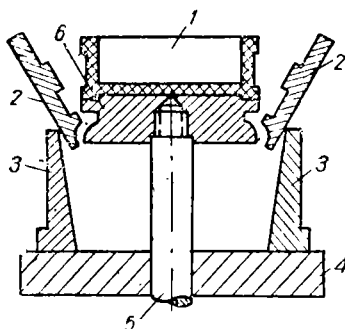


Рис. III-19. Разъемная матрица:

1 — изделие; 2 — разъемные боковые части матрицы; 3 — обойма; 4 — нижняя плита-опора; 5 — выталкиватель; 6 — дно матрицы.

выходящих из прессформы. При наличии поднутрений или боковых отверстий используют вкладыши или боковые подвижные знаки. Для прессования одного и того же вида изделий можно применять матрицы различной конструкции. Разъемные боковые части матрицы (рис. III-19) могут быть шарнирно прикреплены к ее дну, что упрощает работу прессовщика, но удорожает прессформу.

Объем прессизделия значительно меньше объема загруженного прессматериала при прямом прессовании, поэтому над оформляющей полостью прессформы имеется загрузочная камера, высота которой должна быть такой, чтобы над загруженным материалом осталось небольшое пространство для входа пуансона.

Пуансоном называется выступающая часть прессформы, оформляющая внутреннюю поверхность изделия и располагаемая обычно сверху. В месте сопряжения матрицы и пуансона имеются вентиля-

ционные каналы или сплошной зазор для выхода летучих при прессовании.

Для оформления внутренней резьбы применяют резьбооформляющие знаки — стержни с наружной нарезкой, которые служат также для навинчивания гаек. Наружную резьбу оформляют резьбовыми кольцами. Для получения цилиндрических или конических отверстий, сквозных и несквозных, применяют шпильки, для тонких длинных отверстий — пару «встречных» шпилек, одна из которых расположена в матрице, а другая в пуансоне. Для правильной посадки шпилек в одной из них делают углубление, в которое входит конический выступ другой.

Углубления, выступы и отверстия некруглой формы оформляют так называемыми вкладышами или сухарями.

Резьбооформляющие детали, шпильки и вкладыши могут располагаться на матрице, и, кроме того, пуансоне. Иногда резьба наносится непосредственно на пуансон или матрицу. В многогнездных прессформах резьбовые кольца и знаки располагаются в съемной плите — кассете.

Конструктивные детали

Основными конструктивными деталями являются обоймы, плиты, опорные планки, направляющие втулки и колонки, а также выталкиватели.

Обоймы (рис. III-20) представляют собой плиты, в отверстиях которых закрепляются матрицы и пуансоны. В обоймах пуансонов закреплены направляющие колонки, а в обоймах матриц — направляющие втулки, в которые при смыкании прессформы входят направляющие колонки. В обоймах имеются отверстия для измерителей и регуляторов температуры.

Опорные планки привинчиваются к обоймам матриц и пуансонов. Они ограничивают ход пуансона и частично воспринимают давление плунжера, что предохраняет отжимные кромки от смятия.

Направляющие колонки и втулки обеспечивают правильное смыкание прессформы. Неправильная посадка пуансона приводит к усиленному износу прессформы или к аварии.

Опорная плита находится под обоймой матрицы и воспринимает давление прессования. В опорной плите обычно располагается обогревающее устройство матрицы. В верхней плите имеется обогревающее устройство пуансона. Нижняя плита служит основанием прессформы.

Нижние подкладки помещены между опорной и нижней плитами, создавая пространство, в котором располагается выталкивающее устройство прессформы. Верхние подкладки создают воздушную теплоизоляцию между верхней обогревающей плитой и подвижной плитой пресса.

На рис. III-21 представлена многогнездная прессформа в сомкнутом состоянии.

Выталкиватели выполняются сплошными под весь низ изделия, а также в виде штифтов разной толщины. Штифтовой выталкиватель при нижнем сталкивании (рис. III-22) состоит из нескольких штифтов 1, закрепленных головками между двумя соединительными планками 2 и 4, скрепленными между собой винтами.

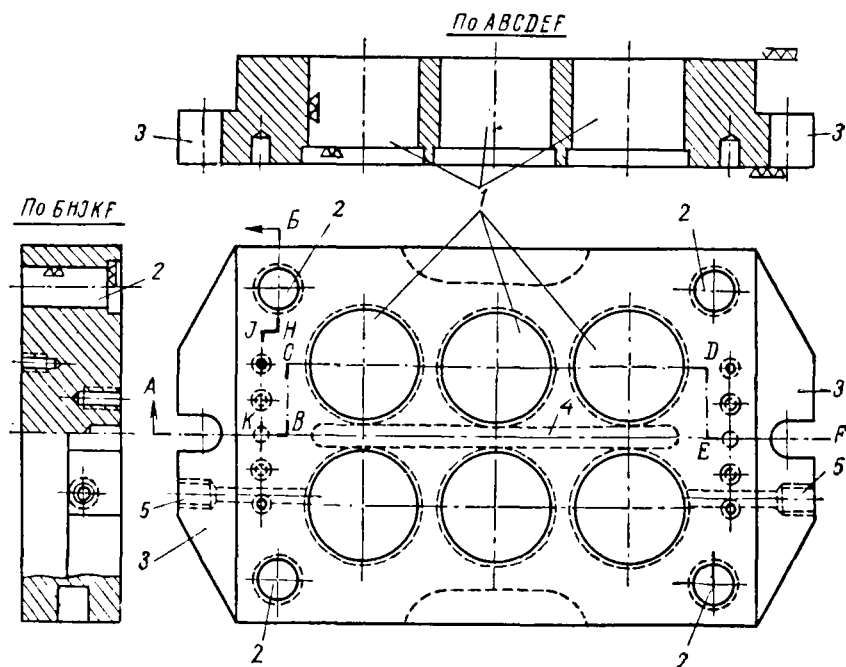


Рис. III-20. Обойма шестигнездной прессформы:

1—отверстия для пуансонов или матриц; 2—отверстия для направляющих втулок и колонок; 3—проушины для крепления к прессу; 4—фиксирующая шпонка; 5—отверстия для термометров.

В нижнюю соединительную планку входит шпindelь 6, на нижнем конце которого имеется резьба для ввинчивания в выталкивающий плунжер пресса.

Штифтовой выталкиватель сложнее по устройству, чем общий, но изнашивается он меньше. При общем выталкивателе вследствие износа на днище матрицы образуется заметный зазор, куда затекает прессматериал. Это приводит к увеличенному грату.

Если нежелательны отпечатки штифтов на нижней поверхности изделия или оно должно оставаться на пуансоне, то применяют верхнее сталкивание (рис. III-23), имеющее следующее устройство. Сталкивающие штифты 12 закреплены в соединительной планке 3, расположенной между обоймой пуансона 4 и верхней

плитой прессформы 2. Через края планки пропущены тяги 7 с гайками 14, регулирующими высоту подъема планки. Внизу тяги закреплены в обойме матрицы. При разъеме пресса подвижная плита его движется вверх, поднимая с собой обойму пуансона и соединительную планку. Штифты и соединительная планка останавливаются, достигнув упора регулировочных гаек. Пуансон продолжает подниматься с изделием, которое сталкивается, достигнув

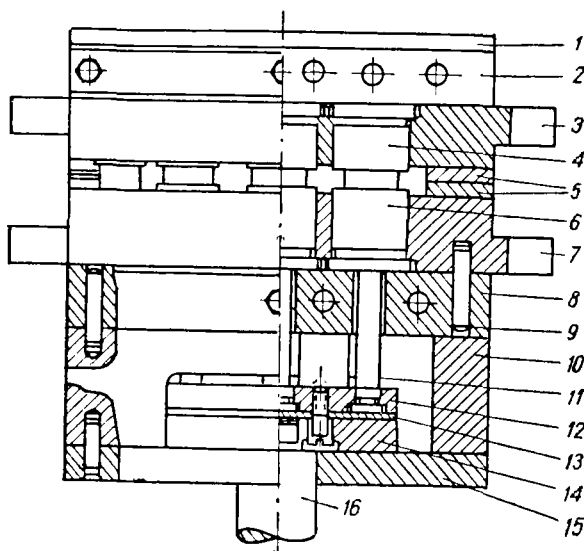


Рис. III-21. Многогнездная прессформа (в сомкнутом виде):

1—верхняя подкладка; 2—верхняя плита обогрева; 3—обойма пуансонов; 4—пуансон; 5—опорные планки; 6—матрица; 7—обойма матриц; 8—опорная плита—нижняя плита обогрева; 9—контрольный штифт; 10—подкладка; 11—выталкиватель; 12—верхняя соединительная планка выталкивателей; 13—промежуточная прокладка; 14—нижняя соединительная планка выталкивателей; 15—нижняя плита; 16—шпindel.

штифтов. При смыкании прессформы возвратные колонки 5 упираются в матрицу и пуансон скользит в них по штифтам, возвращаясь в прежнее положение.

Для изделий с невысокими стенками выталкивание часто осуществляется за счет обдувки сжатым воздухом, при этом изделие вследствие усадки легко отстает от прессформы.

Извлечение изделий с резьбой производится посредством свертывающей установки, прессформы с вращающимися знаками и прессформы с поворотной кассетой. При одnogнездных прессформам изделие свинчивается вручную коловоротами или ключами.

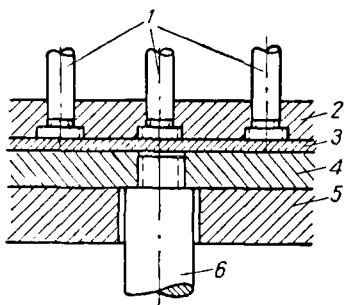


Рис. III-22. Схема нижнего сталкивания:

1 — штифтовые выталкиватели;
2 — верхняя соединительная планка;
3 — промежуточная каленая прокладка;
4 — нижняя соединительная планка;
5 — нижняя плита прессформы;
6 — шпindel.

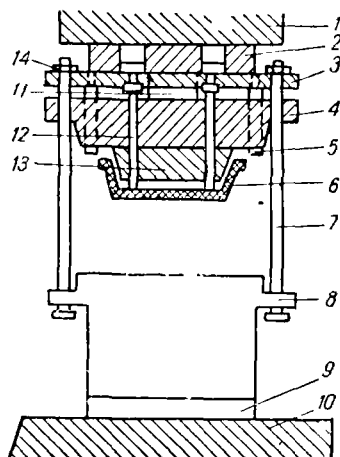


Рис. III-23. Схема верхнего сталкивания:

1 — подвижная плита пресса; 2 — верхняя плита прессформы; 3 — соединительная планка; 4 — обойма пуансона; 5 — возвратные колонки; 6 — изделие; 7 — тяги; 8 — нижняя часть прессформы; 9 — нижняя плита прессформы; 10 — нижняя плита пресса; 11 — подкладка; 12 — сталкивающие штифты; 13 — пуансон; 14 — гайки.

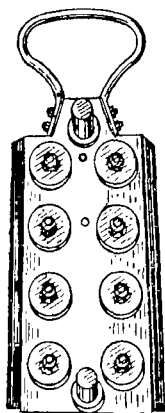


Рис. III-24. Кассета для свертывания изделий.

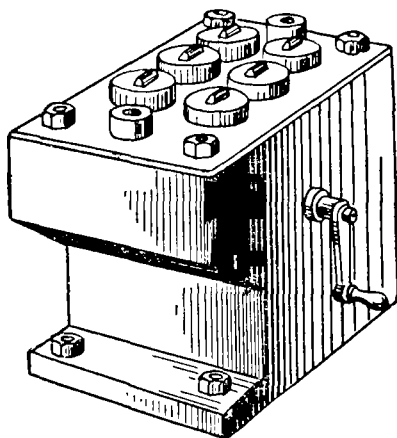


Рис. III-25. Свертывающее приспособление.

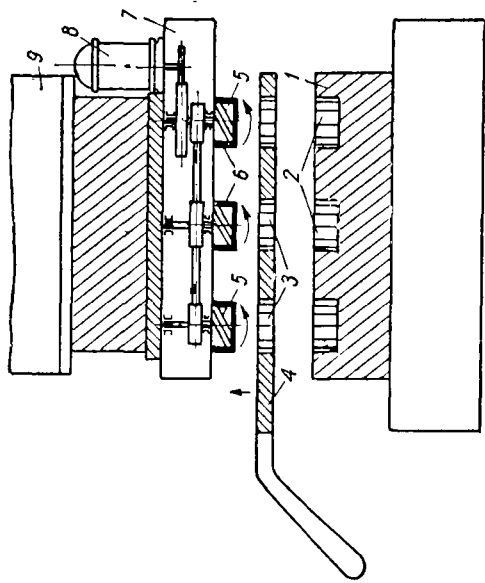


Рис. III-26. Прессформа с вращающимися знаками:

1 — матрица; 2 — гнзла матрицы; 3 — гнзла оформляющих рифов; 4 — оформляющие рифы; 5 — вращающиеся (резьбовые) знаки; 6 — изделия; 7 — редуктор; 8 — электродвигатель; 9 — подвижная плита.

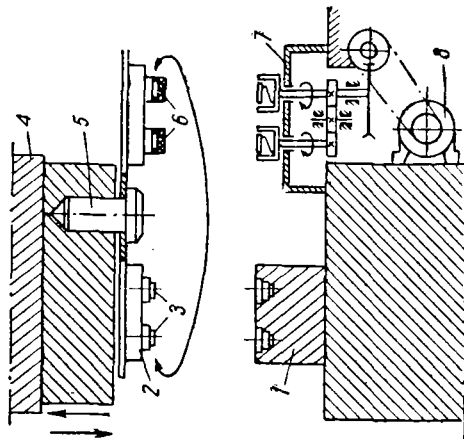


Рис. III-27. Прессформа с поворотной кассетой:

1 — матрица; 2 — кассета; 3 — резьбовые знаки; 4 — подвижная плита; 5 — ось; 6 — изделия; 7 — свертавающее приспособление; 8 — электродвигатель.

На многогнездных прессформах резьбовые знаки и кольца закрепляются на специальной кассете (рис. III-24), надеваемой на матрицу на салазках. После запрессовки кассета снимается с матрицы и устанавливается на свертывающее приспособление (рис. III-25). Свертывание производится вручную или от механического привода.

В прессформе с вращающимися знаками (рис. III-26) пуансон состоит из нескольких знаков, получающих вращение от электродвигателя 8 через шестеренчатый редуктор 7. Запрессовка происходит при опускании пуансона, причем на наружной поверхности изделий оформляются рифы 4. Когда пуансон поднят, на изделия надевают рамку и включают электромотор. Знаки вращаются, а изделия, зажатые в рамке, свинчиваются со знаков.

Прессформа с поворотной кассетой (рис. III-27) имеет в ней двойное по отношению к матрице количество резьбовых знаков. После подъема пуансона кассета вручную поворачивается вокруг оси 5 на 180° , удерживаясь в этом положении защелкой, и пуансон опускается. В левой части прессформы происходит прессование, а в правой — свинчивание изделий 6 гнездами, приводимыми во вращение электродвигателем 8 через шестеренчатый редуктор.

Нагревательные детали

Обогрев прессформ может быть паровым, водяным и электрическим.

Паровой и водяной обогревы применяют в тех случаях, когда после прессования следует охладить изделия, например при прессовании плит или прессовании штучных изделий из термопластов. Для водяного и парового обогрева в плите просверливают каналы и заглушают их пробками так, что создается один поток или несколько параллельных потоков, в связи с чем различают последовательное, параллельное и смешанное расположение каналов (рис. III-28).

Электрообогрев прессформ разделяется в свою очередь на три вида: омический, индукционный и полупроводниковый. Наиболее распространен омический обогрев, при котором в нагревательную плиту пуансона и матрицы вставляют плоские или круглые электрообогревательные элементы. Плоский нагревательный элемент представляет собой нихромовую или фехралевую проволоку (или ленту), намотанную на пластину слюды или асбеста. Эти нагревательные элементы впрессовывают в нагревательную плиту. Круглый обогревательный элемент представляет собой трубку из жаростойкой стали, внутрь которой вставлен дырчатый керамиковый стержень с электрической обмоткой. Все пустоты внутри трубки заполнены окисью магния или кварцевым песком. На торцах стержня имеются прокладки из миканита и асбеста. В один конец трубки вставлена керамиковая пробка, через нее пропущены электроспираль. Круглые обогревательные элементы вставляют в просверленные каналы нагревательной плиты. Они более удобны, чем

плоские, так как легче заменяются. Крупным недостатком омического обогрева прессформ является неравномерное распределение температуры.

Выравнивание температурного поля может осуществляться разными способами: с помощью теплоизоляции, рационального размещения электронагревательных элементов (более мощные элементы у краев плиты), установкой двух терморегуляторов — одного у края, другого — в центре плиты. Значительно равномернее температура при полупроводниковом и индукционном обогреве.

При оборудовании полупроводникового обогрева вначале вытачивают стальное кольцо с бортиками. Наружную боковую поверхность кольца обезжиривают и грунтуют эмалью, которую сушат при 60°C и обжигают при 850°C . Затем наносят слой титановой эмали, сушат и обжигают при $820\text{--}830^{\circ}\text{C}$. Общая толщина слоя эмали $0,2\text{--}0,5\text{ мм}$. На эмаль наносят полупроводниковый слой. Для этого кристаллическое двуххлористое олово засыпают в нагретую до $410\text{--}420^{\circ}\text{C}$ печь-испаритель, над которой равномерно вращается кольцо. На поверхность кольца осаждаются пары SnO_2 , SnO и Sn . На полученный таким образом полупроводниковый слой наносят у бортиков две кольцевые полосы из пасты коллоидного серебра и к ним припаивают два проводника. Затем полупроводниковый слой покрывают кремнийорганическим лаком К-44, который отверждают при $180\text{--}200^{\circ}\text{C}$. При эксплуатации прессформ с полупроводниковым обогревом удельная мощность не должна превышать $3,5\text{ Вт/см}^2$, а температура прессформы $190\text{--}200^{\circ}\text{C}$. При полупроводниковом обогреве повышается к. п. д., но необходимо предельно уменьшать массу прессформы и применять тщательную бортовую и торцовую изоляцию.

Индукционный обогрев осуществляется следующим образом. В обогревающей плите или в самой прессформе вокруг оформляющих гнезд вырезают пазы, в которые укладывают индуктор — витки медного провода со стеклянной изоляцией. Их заливают жидким стеклом или эпоксидным компаундом с отвердителем. При пропускании переменного тока по виткам в поверхностном слое паза индуцируются местные вихревые токи (токи Фуко), разогревающие поверхностный слой, а затем и остальную массу

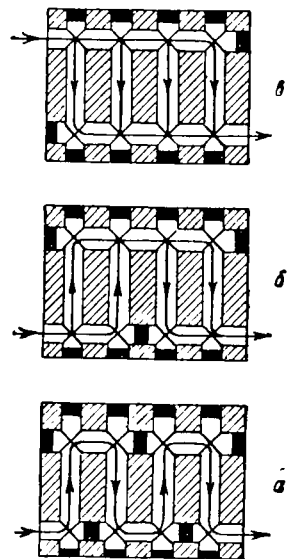


Рис. III-28. Расположение обогревательных каналов:

а — последовательное; б — смешанное; в — параллельное.

прессформы. При индукционном обогреве уменьшается (сравнительно с омическим) расход электроэнергии, ускоряется нагревание прессформ, причем оно становится более равномерным, и увеличивается срок службы обогревающего устройства.

Используют также прессформы с комбинированным полупроводниковым и индукционным обогревом.

Типы прессформ

Прессформы обычно классифицируются по следующим признакам:

- 1) по характеру крепления — съемные, полусъемные и крепкие (стационарные);
- 2) по замыканию оформляющей полости — открытые, закрытые, прессформы с перетеканием и комбинированные;
- 3) по плоскости разъема прессформы — с вертикальной и горизонтальной плоскостью разъема;
- 4) по методу извлечения прессизделий — с нижним и верхним выталкиванием, без выталкивания и со свинчивающим приспособлением;
- 5) по количеству гнезд — одногнездные и многогнездные; последние разделяют по конструкции загрузочных камер — с отдельными загрузочными камерами и с общей загрузочной камерой.

Съемные прессформы не крепят к прессу, а свободно устанавливают на его столе. После каждой запрессовки прессформу снимают со стола и разбирают вне прессы. Вслед за извлечением изделия следует загрузка прессматериала и сборка. Прессформу вновь устанавливают на стол прессы для запрессовки. Основными

частями съемной прессформы (рис. III-29) являются пуансон 1 с направляющими колонками 4, матрица 2 с ручками 5 для переноса прессформы и выталкиватель 3. Съемные прессформы нагревают прямо на плите прессы или вне его. Они отличаются простотой конструкции и дешевизной, но имеют ряд недостатков:

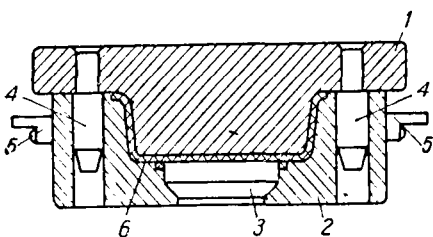


Рис. III-29. Съемная прессформа:

1 — пуансон; 2 — матрица; 3 — выталкиватель; 4 — направляющие колонки; 5 — ручки; 6 — изделение.

- 1) перенос, разборка и сборка горячих прессформ — тяжелая физическая работа,

при которой возможны ожоги или механические травмы (для получения крупных изделий эти прессформы вообще не применяются);

- 2) производительность таких прессформ ниже, чем стационарных;

- 3) трудно поддерживать постоянную температуру прессования;

4) ускоряется износ прессформы и увеличивается расход тепла на нагрев.

Съемные прессформы имеют ограниченное применение и используются главным образом для производства изделий, заказываемых в небольшом количестве, для изготовления опытных образцов и для производства изделий, требующих длительного обслуживания при их прессовке.

Стационарные прессформы крепят болтами к плитам пресса. Встречаются также прессформы промежуточного типа, у которых прикреплены к прессу обоймы, а оформляющие детали, включая матрицу и пуансон, — съемные.

Открытые прессформы (рис. III-30, а) характеризуются свободным вытеканием избытка прессматериала, так как оформляющая

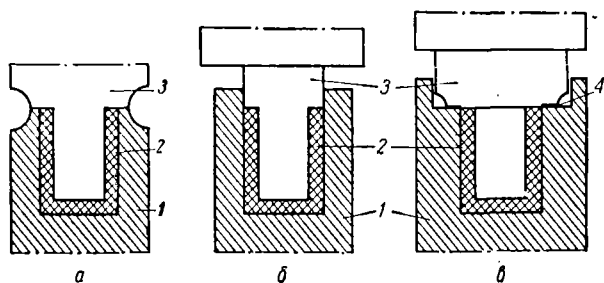


Рис. III-30. Прессформы:

а — открытая; б — закрытая; в — с перетеканием;
1 — матрица; 2 — изделие; 3 — пуансон; 4 — пресскант.

полость остается открытой вплоть до полного смыкания прессформы. Поверхность соприкосновения матрицы и пуансона горизонтальна и поэтому вытекший материал, называемый гратом, облоем или заусенцами, также горизонтален. Открытые прессформы сравнительно просты по конструкции и медленнее изнашиваются, так как у них нет скольжения пуансона по матрице. Однако возможность свободного вытекания прессматериала при смыкании прессформы приводит к его повышенному расходу и к возможности получения рыхлых изделий вследствие недостатка прессматериала к моменту полного закрытия прессформы, а также определяет непригодность открытых прессформ для прессования изделий с высокими стенками.

Закрытые прессформы (рис. III-30, б) называют также поршневыми, потому что пуансон скользит в них по стенкам матрицы подобно поршню. Эти прессформы имеют загрузочную камеру, расположенную над оформляющей полостью матрицы, причем площади сечения камеры и матрицы равны. Все давление поршня

передается на прессматериал. Выход материала закрыт уже в начале смыкания прессформы, и весь материал остается в прессформе, что требует более точной дозировки. Зазор между пуансоном и матрицей вертикальный, что определяет получение вертикального грата. Вследствие скольжения пуансона по матрице такие прессформы отличаются повышенным износом. Их применяют для прессования материалов с длинноволокнистым наполнителем, имеющим пониженную текучесть и для получения изделий с высокими стенками.

Прессформы с перетеканием называют также полузакрытыми или закрытыми с перетеканием (рис. III-30, в). Они характеризуются тем, что сечение загрузочной камеры больше сечения оформляющей полости матрицы. Поэтому верхняя расширенная часть пуансона закрывает выход прессматериалу еще до полного смыкания прессформы. Пуансон и матрица соприкасаются по узкой (2,5—5 мм ширины) кромке, называемой отжимным рантом или кантом (пресскант). Через этот рант отжимается избыток прессматериала в зазор (или зазоры) между матрицей и пуансоном. Получаемый горизонтальный грат соединен с изделием тонкой пленкой, и поэтому легко удаляется. Для того чтобы пуансон не смял при посадке рант, между ними оставляют зазор величиной 0,1—0,3 мм, который регулируется с помощью опорных планок, ограничивающих ход пуансона. Прессформы с перетеканием получили широкое распространение. Они менее чувствительны к неточности дозировки и меньше изнашиваются, чем поршневые, и в то же время не имеют недостатков открытых прессформ.

Применяют различные методы расчета электрообогрева прессформ, например принимают на 1 кг массы прессформы мощность 30—70 вт. Однако этот метод весьма неточен и правильное исходить из теплового баланса (в ккал/ч), который составляется на установившийся период процесса по следующей форме:

Расчет электрообогрева

Приход

1) Тепло от электронагревателя	$q_{эл}$
2) Тепло поликонденсации	$q_{экз}$
Всего	$Q_{общ}$

Расход

1) Тепло на нагревание прессматериала	$q_{пол}$
2) Потери тепла в окружающую среду (в воздух)	$q_{о.с}$
3) Потери тепла в стол пресса	$q_{с.п}$
4) Потери тепла через болтовые соединения	$q_{б.с}$
5) Прочие потери тепла	$q_{пр}$
Всего	$Q_{общ}$

Экзотермическое выделение тепла за счет поликонденсации, как отмечалось, может быть принято равным 7,5—12 ккал на 1 кг прессуемого материала.

Полезный расход тепла, т. е. расход тепла на подогрев пресс-материала до температуры прессования, определяется по обычной формуле:

$$q_{\text{пол}} = G_{\text{час}} c \Delta t_1$$

где $G_{\text{час}}$ — часовой расход прессматериала, кг/ч;

c — теплоемкость прессматериала, ккал/(кг · град);

Δt_1 — разность высшей и низшей температур прессматериала, град;

Величину $G_{\text{час}}$ рассчитывают по уравнению:

$$G_{\text{час}} = G_1 n m$$

где G_1 — расход прессматериала на одно изделие, кг;

n — гнездность прессформы;

m — количество запрессовок в 1 ч.

Потери тепла в окружающую среду состояются из потерь тепла боковыми стенками прессформы $q_{\text{бок}}$ и поверхностью разъема прессформы q_p .

Величина $q_{\text{бок}}$ определяется по формуле:

$$q_{\text{бок}} = \alpha_{\text{бок}} F_{\text{бок}} \Delta t_2$$

где $\alpha_{\text{бок}}$ — коэффициент теплоотдачи боковой поверхностью в воздух, ккал/(м² · ч · град);

$F_{\text{бок}}$ — боковая поверхность, м²;

Δt_2 — разность температур наружной стенки прессформы и воздуха, град.

Расчет ведется по обычным критериальным уравнениям, например можно рассчитывать $\alpha_{\text{бок}}$ по уравнению:

$$\alpha_{\text{бок}} = \frac{0,535\lambda}{l} (\text{GrPr})^{0,286}$$

где λ — коэффициент теплопроводности среды (воздуха), ккал/(м · ч · град);

l — высота прессформы, м;

Gr — критерий Грасгофа;

Pr — критерий Прандтля.

Можно применять и упрощенные методы расчета для определения α , например эмпирическую формулу Линчевского, пригодную при температуре стенки 50—350° С:

$$\alpha = 8 + 0,05 t_{\text{ст}}$$

где $t_{\text{ст}}$ — температура стенки прессформы, °С.

Величина q_p рассчитывается по уравнению:

$$q_p = \alpha_p F_p \Delta t_3$$

где α_p — коэффициент теплоотдачи мест разъема прессформы в воздух, $\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град})$;

F_p — поверхность мест разъема прессформы, м^2 ;

Δt_3 — разность температур мест разъема прессформы и воздуха, град .

Коэффициент теплоотдачи мест разъема для оформляющей части матрицы можно определить по формуле:

$$\alpha_p = 0,95 \frac{\lambda}{h} (\text{GrPr})^{0,02}$$

где h — высота гнезда матрицы, м .

Для горизонтальной плоскости разъема матрицы можно использовать эмпирическую зависимость

$$\alpha_p = 4,2t^{0,19}$$

Значение t находится как среднее температур воздуха и стенки.

Для горизонтальной поверхности пуансона коэффициент теплоотдачи можно определить по эмпирическим формулам:

$$\alpha_p = 1,13 \Delta t_4^{0,25}$$

или

$$\alpha_p = 120\lambda \left(1 - \frac{30}{\Delta t_4}\right)$$

где λ — коэффициент теплопроводности воздуха, $\text{ккал}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{град})$;

Δt_4 — разность температур стенки и воздуха, град .

Учитывая повышенные тепловые потери пуансоном из-за его перемещения при раскрытии и смыкании формы, целесообразнее рассчитывать коэффициент теплопередачи так же, как для вертикальных стенок, или принять по практическим данным, равным $10-12 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град})$.

Потери тепла в стол пресса при наличии однородной прокладки могут быть рассчитаны по формуле:

$$q_{с.п} = 2F \frac{\lambda \Delta t}{l}$$

где F — поверхность соприкосновения прессформы со столом пресса, м^2 ;

λ — коэффициент теплопроводности материала прокладки, $\text{ккал}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{град})$;

l — толщина прокладки, м ;

Δt_5 — разность температур прессформы и стола пресса, град .

Коэффициент 2 учитывает потерю тепла обоймой матрицы и обоймой пуансона.

Если прокладка неоднородна, например состоит из металлической решетки и асбеста, то расчет ведется как для многослойной стенки или, что значительно проще, условно принимают коэффи-

коэффициент потерь тепла в плиты пресса равным коэффициенту теплопотерь боковых стенок прессформы. При этом потери тепла получаются завышенными, что создает запас мощности электронагревателя.

Потери тепла болтовыми соединениями и прочие потери (например, при обдувке прессформы сжатым воздухом) сравнительно малы. Определение их довольно громоздко и ненадежно, поэтому можно принимать эти величины без расчета равными 3—6% общих потерь тепла.

Когда из баланса определен приход тепла от электрообогревателя, рассчитывают требуемую его мощность по формуле:

$$N = \frac{q_{эл}}{860\eta}$$

где η — к. п. д. электрообогрева.

Рекомендуется принимать мощность нагревателя на 15—20% выше расчетной.

ПРОЦЕСС ПРЕССОВАНИЯ

Производство прессизделий состоит из следующих основных операций: таблетирования, дозировки, предварительного подогрева, загрузки в прессформу, собственно прессования и выемки отпрессованных изделий.

Дозировка прессматериала может быть весовой, объемной или штучной. При весовой дозировке прессматериал взвешивают на технических весах. Этот способ наиболее точен, но трудоемок. При объемной дозировке пресспорошок засыпается в мерные стаканчики; это менее точный способ, так как удельный объем порошка может меняться. Наиболее удобной является штучная дозировка таблетками, которые могут иметь различную форму и массу, но чаще всего бывают цилиндрическими.

Загрузку прессматериала в одногнездовую прессформу производят вручную без особых приспособлений, порошок засыпают совками. При загрузке в многогнездную форму обычно используют загрузочные доски (рис. III-31).

Арматуру вставляют в прессформу до загрузки прессматериала. Арматура представляет собой детали (обычно металлические), которые запрессовывают в изделия для их усиления (стальная арматура) и в качестве токопроводящих частей (латунь, бронза). Для соединения отдельных прессизделий на резьбе запрессовывают иногда металлические винты и гайки, так как пластмассовая резьба значительно уступает металлической по прочности. Усадка прессматериала значительно больше усадки металла, поэтому при охлаждении пластмасса обжимает арматуру. Для более надежного закрепления, например при воздействии механических усилий на

изделие, на круглой арматуре вытачивают гранн, отверстия и т. д. Арматура должна поступать на запрессовку очищенной от масла, грязи и металлической пыли. Толстая арматура вставляется в прессформу подогретой. Закрепление арматуры в прессформе (матрице, пуансоне или выталкивателе) производят разными способами, например арматуру одевают на резьбовые знаки и шпильки, применяется навинчивание арматуры на знаки, которые удерживаются в форме посредством пружинящих хвостовиков.

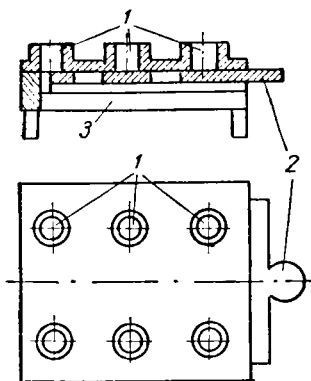


Рис. III-31. Загрузочное приспособление:

1 — доска с гнездами; 2 — подвижная заслонка; 3 — рамка.

Для некоторых изделий запрессовка арматуры связана со значительной затратой времени на ее вставку в прессформу или же значительно усложняет конструкцию прессформы. В таких случаях впрессовывают арматуру в готовое изделие, оформляя в нем отверстие (или высверливая его после запрессовки), которое по размеру меньше арматуры. Иногда впрессовывают арматуру в неполностью отвержденное, обладающее некоторой пластичностью изделие. После запрессовки арматуры прессформу закрывают и отверждение продолжается.

Тонкостенную арматуру, которая может быть деформирована при запрессовке, приклеивают к готовому прессизделию. Необходимо учитывать повышенную склонность армированных изделий к растрескиванию вследствие значительной разницы коэффициентов термического расширения металла и пластмассы. Не допускается, в частности, запрессовка арматуры ближе, чем на 1,5—2 мм к поверхности прессизделия.

Собственно прессование включает в себя операции опускания пуансона при низком давлении, переход на высокое давление, подпрессовки (газовки) и выдержку прессизделия при высоком давлении.

После установки арматуры и загрузки прессматериала опускают подвижную плиту с пуансоном до смыкания прессформы, причем до соприкосновения пуансона с прессматериалом опускание производят быстро, а затем во избежание выброса прессматериала и ускоренного износа прессформы — медленно. После смыкания прессформы на рабочий цилиндр пресса подают высокое давление, при котором и идет процесс прессования. При переводе с низкого давления на высокое часто делают паузу, т. е. останавливают пуансон на 10—30 сек. Во время этой паузы снижается текучесть прессматериала, что препятствует его значительному

вытеканию. Пауза особенно целесообразна для материалов с повышенной текучестью и при открытых прессформах.

После полного смыкания прессформы иногда производят подпрессовку — поднятие пуансона с последующим его опусканием. При этом удаляется значительное количество летучих, что повышает физико-механические свойства прессизделий и сокращает выдержку на 20—50%. По высоте поднятия пуансона различают высокую подпрессовку (10—30 мм) и низкую (5—10 мм), а по времени — раннюю, когда пуансон поднимают непосредственно после его опускания, и позднюю — через 10—30 сек после опускания пуансона. Раннюю подпрессовку осуществляют для быстропрессующихся материалов, а высокую — при повышенной влажности материала. В последнем случае применяют несколько (3—6) подпрессовок.

Подпрессовки не производят при изготовлении армированных изделий, чтобы не допустить смещения арматуры.

Основными технологическими параметрами процесса прессования являются температура и давление прессования, а также выдержка, т. е. длительность прессования изделия при высоком давлении, включая подпрессовки.

Температура прессования должна обеспечить перевод смолы (связующего) в вязкотекучее состояние и затем быстрое ее отверждение. Чрезмерно высокая температура нежелательна, так как может произойти отверждение и потеря текучести до полного оформления изделия. Кроме того, повышенная температура может привести к разложению красителя и самого прессматериала. Температура прессования определяется составом прессматериала, в основном — типом связующего. Например, для пресспорошков К-18-2 принимают температуру прессования 180—200°С, а для амнопластов на основе мочевино-формальдегидной смолы 140—165°С.

Удельное давление прессования должно быть достаточным, чтобы обеспечить заполнение размягченным прессматериалом формы и преодолеть давление летучих, выделяющихся из прессматериала и стремящихся раскрыть форму. Удельное давление зависит от текучести прессматериала. При наличии длиноволокнистого наполнителя пресспорошка оно равно 400—600 кгс/см² и выше. Если же наполнитель мелковолокнистый (древесная мука) или порошкообразный (минеральные порошки), то достаточно удельного давления ~200 кгс/см². При тканевом наполнителе, чтобы не разорвать волокно ткани, снижают удельное давление прессования.

Повышение удельного давления сверх необходимого заметно не изменяет свойств прессизделия и поэтому является излишним.

Выдержка должна обеспечить переход связующего в неплавкое и нерастворимое состояние в такой степени, какая требуется

условиями эксплуатации данного изделия. Продолжительность выдержки определяется в основном скоростью отверждения связующего при температуре прессования; на нее влияют содержание влаги, форма и толщина изделия, конструкция прессформы, а также применение предварительного подогрева и подпрессовок. Новолачные прессматериалы обладают максимальной скоростью отверждения при температуре прессования. Для них минимальная продолжительность выдержки при условии применения предварительного обогрева и подпрессовок снижается до 5—20 сек на 1 мм толщины изделия. Продолжительность выдержки обычно определяется экспериментальной запрессовкой с испытанием полученного образца на растворимость в ацетоне, так как отвержденная смола в нем нерастворима. Увеличение выдержки не повышает механической прочности изделия, а диэлектрические свойства могут ухудшиться; кроме того при этом снижается производительность пресса. Поэтому нецелесообразно применять выдержку выше минимально необходимой.

Снятие внутренних напряжений применяется особенно часто для сравнительно крупных изделий и изделий с арматурой. Внутренние напряжения возникают в основном вследствие неодинаковой усадки отдельных частей изделия из-за неравномерностей прогрева прессматериала при прессовании и охлаждении изделия. Для изделий с высокими стенками имеют значение и ориентационные напряжения, возникающие при растекании материала по полостям прессформы. Появлению внутренних напряжений способствует неодинаковая толщина стенок изделия и наличие ребер. Внутренние напряжения могут привести к растрескиванию и короблению изделий. Для предотвращения этого нередко применяют рихтовку и отжиг.

Рихтовка заключается в том, что прессизделие, извлеченное из прессформы, зажимают в металлической оправке и охлаждают в ней. Охлаждение в самой прессформе значительно лучше предупреждает появление трещин и коробление, но снижает производительность пресса.

Отжиг заключается в том, что изделия подогревают на воздухе или в масле до 120—150°С и затем медленно охлаждают.

БРАК И ЕГО ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ

Основные виды брака при прессовании следующие.

1. *Недопрессовка* — рыхлость изделия общая или частичная (местная недопрессовка). Основная причина недопрессовки — нехватка прессматериала, которая возникает из-за неправильной дозировки, а также чрезмерного вытекания прессматериала при его повышенной текучести или наличии больших зазоров между пуансоном и матрицей. Кроме того, к недопрессовке могут при-

вести низкая текучесть материала, низкое удельное давление и отклонение от оптимальной температуры прессования. Слишком высокая температура вызывает преждевременное отверждение и снижение текучести (недостаточно высокая температура также ведет к понижению текучести). Снизить текучесть прессматериала сверх нормы может и перегрев материала в стадии предварительного подогрева. К недопрессовке приводит и недостаточная посадка пуансона вследствие засорения направляющих втулок.

2. *Матовость изделия* возникает из-за того, что связующее не выступает на поверхности прессизделия и не обеспечивает поэтому внешнего глянца. Причиной матовости может быть слишком высокая или слишком низкая температура прессования, а также недостаточная полировка прессформы или загрязнение ее поверхности маслом при поддувке воздухом.

3. *Вздутия* на поверхности изделия бывают в основном из-за чрезмерно высокой температуры прессования и повышенного содержания летучих. Повышенное давление паров и газов приводит к вздутиям недостаточно отвержденной поверхности. Неполное отверждение может быть также при пониженной температуре прессования и недостаточной выдержке.

4. *Трещины* часто появляются совместно со вздутиями вследствие выхода летучих через поверхность изделия. К появлению трещин приводят внутренние напряжения из-за неравномерной усадки, неправильного расположения арматуры и нерациональной конструкции прессформы. Трещины образуются также при неисправности выталкивающей системы.

5. *Неровность и волнистость* изделия наблюдаются при повышенной влажности и текучести.

6. *Прилипание* изделий к прессформе происходит при недостатке смазки, загрязненной поверхности прессформы, неполном отверждении прессматериала и при малой конусности оформляющих частей прессформы.

7. *Коробление* появляется при неравномерной усадке изделия.

8. *Складки (швы)* получаются при высоких подпрессовках, сделанных замедленно или поздно и при задержке замыкания прессформы.

9. *Толстая фаска* возникает из-за толстого грата, наблюдаемого при низкой текучести прессматериала и неудачной конструкции прессформы.

10. *Изменение цвета* происходит вследствие разложения красителя при его неудачном выборе и перегреве прессматериала.

11. *Механические повреждения* — в виде отрывов, сколов, трещин и т. д. — могут появиться при неудачной конструкции выталкивающей системы, прилипанию, неаккуратном сбрасывании прессизделий в тару и неполадках при внешней отделке изделий.

Следовательно, основными мерами предотвращения брака являются тщательное соблюдение технологического режима прессования, исправность оборудования и соответствие прессматериала техническим требованиям.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ

Вследствие того, что отходы термореактивных материалов уже утратили способность к размягчению и растворению, использование их затруднительно.

Наиболее распространенный метод использования отходов термореактивных материалов — измельчение их и добавка к свежему материалу в количестве $\sim 6\text{--}7\%$.

Активность измельченных отходов повышается с увеличением дисперсности, так как удельная поверхность становится больше.

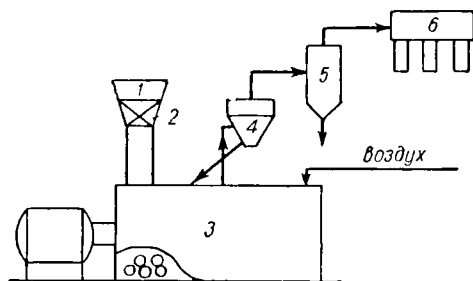


Рис. III-32. Схема использования отходов реактопластов:

1 — бункер; 2 — дозатор; 3 — вибромельница; 4 — классификатор; 5 — осадительный циклон; 6 — рукавный фильтр.

При тонком измельчении возможно значительно более полное использование отходов при добавке фурфурола к фенопластам и водного раствора мочевины к аминопластам. Процесс подготовки отходов проводится по следующей схеме (рис. III-32). Отходы, получаемые при прессовании, поступают через бункер 1 и дозатор 2 в вибромельницу 3. Измельченный материал поступает в токе воздуха в классификатор (воздушный сепаратор) 4. Более крупные кусочки возвращаются на вибромельницу, а тонкий помол поступает в осадительный циклон 5, из которого отбирают прессматериал для повторного использования. Пыль улавливается в рукавном фильтре 6.

ПРОГРЕССИВНЫЕ МЕТОДЫ ПРЯМОГО ПРЕССОВАНИЯ

К прогрессивным методам прямого прессования, высокомеханизированным и обеспечивающим большую производительность, относятся: 1) прессование с применением постоянной инструментальной оснастки; 2) двухэтажное; 3) автоматическое.

Сущность первого метода заключается в том, что на прессе закрепляется пакет-блок, к которому прилагается набор прессформ-вставок. Они легко вставляются в гнезда своего пакета-

блока и легко вынимаются при ремонте прессформы или переходе на другое изделие. Блок-пакеты и прессформы-вставки применяют как при компрессионном, так и при литьевом прессовании. Наличие постоянной инструментальной оснастки позволяет осуществлять замену изношенных оформляющих деталей, а также быстрое переключение пресса на изготовление нового изделия.

При двухэтажном прессовании одна прессформа располагается под другой. Применение этого метода имеет ряд преимуществ: повышается производительность, эффективнее используется усилие пресса и снижается расход рабочей жидкости. Однако монтаж и обслуживание многоэтажных прессов сложнее, чем одноэтажных.

На рис. III-33 представлен двухэтажный пресс с постоянной универсальной оснасткой, разработанной К. Н. Стрельцовым и В. А. Андреевым.

На рабочем плунжере пресса закреплена верхняя полуформа с пуансоном, а на столе — нижняя полуформа с матрицей. На средней плите-обойме закреплены матрица верхнего этажа (сверху) и пуансон нижнего этажа (снизу). Прессование происходит одновременно на обоих этажах. При подъеме главного рабочего плунжера раскрывается верхний этаж, поднимается средняя плита-обойма и раскрывается средний этаж. Изделия выталкиваются по механизму верхнего сталкивания на верхнем этаже и по механизму нижнего — на нижнем этаже.

Автоматические прессы разделяются по количеству автоматически проводимых операций на однооперационные (автоматически происходит только прессование), двухоперационные (таблетирование и прессование), трехоперационные (таблетирование, высокочастотный нагрев и прессование), четырехоперационные (таблетирование, высокочастотный нагрев, прессование и механическая обработка). С увеличением количества автоматизированных операций усложняется конструкция пресса и сокращается ассортимент производимых изделий. Поэтому наибольшим распространением пользуются однооперационные прессы.

Работа однооперационного пресс-автомата (рис. III-34) осуществляется следующим образом. Порошкообразный прессматериал из бункера 5 поступает в дозировочные гнезда 11, объем которых (и величину загрузки) регулируют винтом 7. При подъеме подвижной плиты 3 поршень 9 пневматического цилиндра 10 поднимается и поворачивает цилиндр 8 дозатора. Когда подвижная плита достигает верхнего положения, установленные на ней ролики передвигают штангу 13 с загрузочным шлангом (рукавом) 12, и прессматериал загружается в матрицу прессформы 2. При опускании пуансона и подвижной плиты штанга и шланг возвращаются в прежнее положение, поршень пневматического цилиндра

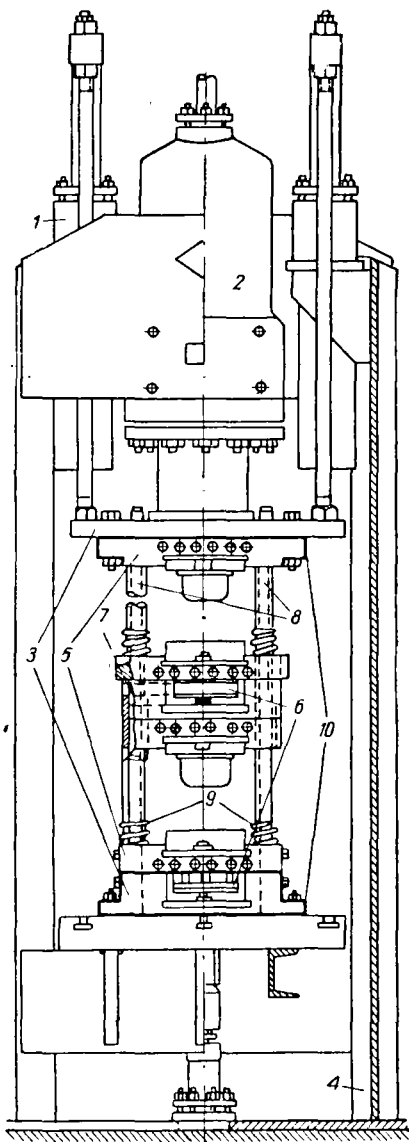


Рис. III-33. Гидравлический пресс с постоянной инструментальной оснасткой двухэтажного типа:

1 — роторный цилиндр; 2 — главный цилиндр; 3 — постоянная универсальная оснастка; 4 — станина; 5 — обоймы с лазовыми устройствами и обогревательной системой; 6 — устройство для выталкивания изделий; 7 — система направляющих колонок и втулок; 8 — тяговая система; 9 — буферные устройства для подпрессовки; 10 — теплоизолирующие прослойки и покрытия.

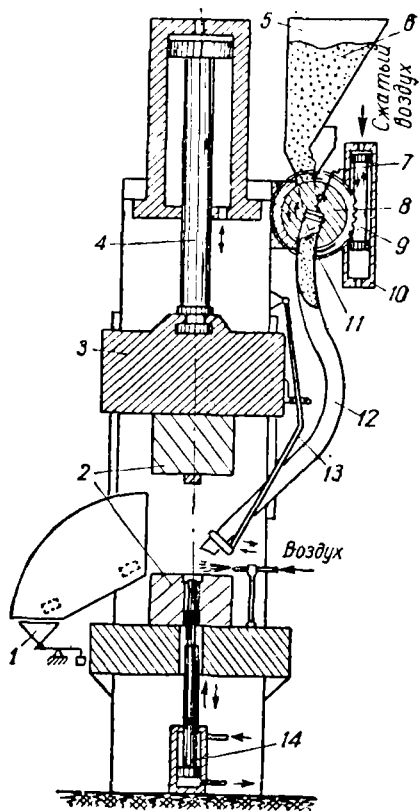


Рис. III-34. Однооперационный пресс-автомат:

1 — чаша; 2 — прессформа; 3 — подвижная плита; 4 — главный плунжер; 5 — бункер; 6 — материал; 7 — винт; 8 — цилиндр дозатора; 9 — поршень; 10 — пневматический цилиндр; 11 — дозирующее гнездо; 12 — рукав; 13 — штанга; 14 — гидравлический выталкиватель.

опускается и цилиндр дозатора возвращается в исходное положение. Далее происходит смыкание прессформы и прессование. Сталкивание прессизделия осуществляется гидравлическим выталкивателем 14 при подъеме подвижной плиты или по механизму верхнего сталкивания. Затем автоматически включается подача сжатого воздуха, готовые изделия сдуваются на опрокидывающуюся чашу 1 автоматических весов и поступают непосредственно или через ленточный транспортер в тару. Одновременно сжатый воздух обдувает прессформу. Вместо шланговых питателей в автоматических прессах иногда устанавливают питатели шиберного типа.

Ротационный пресс-автомат представляет собой прерывисто вращающийся ротор, в верхнем поясе которого расположены 10 пуансонов (одно- или трехгнездных), а в среднем поясе столько же матриц. Пуансоны и матрицы снабжены электрообогревом. Пуансоны закреплены неподвижно, а матрицы в процессе прессования поднимаются гидравлическими цилиндрами и опускаются

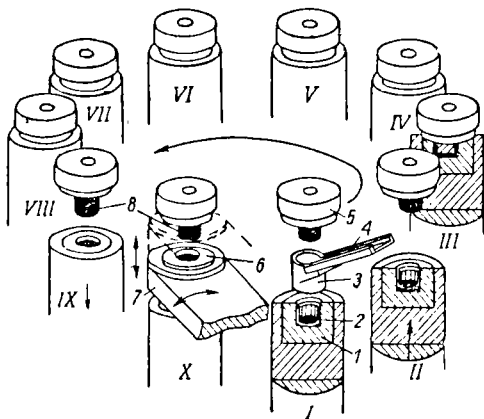


Рис. III-35. Схема работы ротационного пресс-автомата:

1 — матрица; 2 — таблетка; 3 — загрузочная воронка; 4 — лоток; 5 — пуансон; 6 — вращающийся патрон; 7 — рычаг; 8 — изделие.

остается на резьбовой части пуансона (положение IX). В положении X к пуансону подводится рычаг съемно-свинчивающего приспособления, и изделие свинчивается вращающимся патроном. Затем рычаг опускается и отводится в сторону, а изделие сбрасывается в тару.

Автоматическая роторная линия (рис. III-36) состоит из роторов, расположенных последовательно. На 4-гнездном роторе 1 происходит объемная дозировка, 6-гнездном роторе 2 — таблетирование, на 24-гнездном роторе 3 таблетки нагреваются токами

высокой частоты. Прессование производится на 32-гнездном роторе 4. Отпрессованные изделия подаются транспортным ротором 5 в 12-гнездный обрабатывающий ротор 6, а затем транспорт-

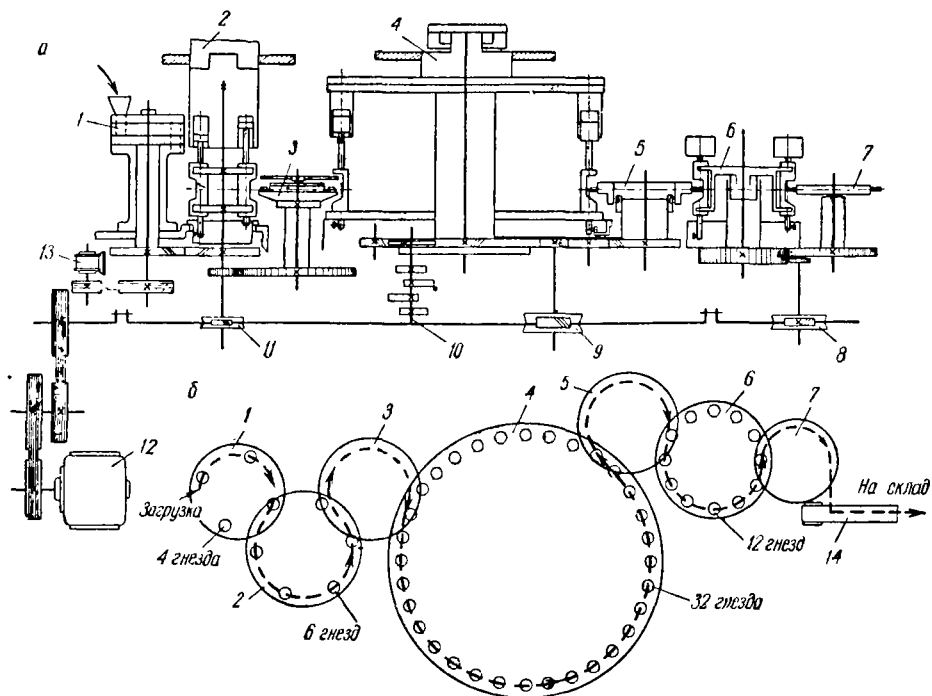


Рис. III-36. Автоматическая роторная линия:

а — развернутая кинематическая схема роторной линии; *б* — схема расположения роторов в плане; 1 — ротор дозирования; 2 — ротор таблетирования; 3 — ротор для нагревания таблеток ТВЧ; 4 — ротор прессования; 5, 7 — транспортные роторы; 6 — ротор снятия заусенцев; 8, 9, 11 — редукторы; 10 — вал привода золотников; 12 — электродвигатель главного привода; 13 — вспомогательный электродвигатель; 14 — транспортер для готовых изделий.

ным ротором 7 — на транспортер 14 для контроля и упаковки. Производительность роторной линии для крышек бытового электровыключателя — 50 изделий в 1 мин.

ПРЕССОВАНИЕ СЛОИСТЫХ ПЛАСТИКОВ

Прессованием слоистых пластиков — текстолита, стеклотекстолита, древесно-слоистых пластиков и др. — получают плиты, трубы и фасонные изделия. Получение листов и плит состоит из операций раскроя пропитанного материала, набора пакетов и их прессования.

Пропитанную ткань и бумагу разматывают с рулона и нарезают на листы, которые затем складывают в пакеты. Можно набирать пакеты не разрезая ткань, а лишь перегибая ее в несколько слоев. Пакет укладывают между полированными листами нержавеющей стали и загружают между обогревающими плитами этажного пресса, причем между двумя соседними плитами укладывают один или несколько пакетов в зависимости от их толщины и расстояния (просвета) между греющими плитами.

При прессовании листов и плит из слоистых пластиков удельное давление принимается значительно ниже, чем при прессовании штучных изделий, чтобы избежать разрыва волокон, кроме того, при прессовании плит и листов не требуется высокой текучести. Давление нарастает постепенно, так как применение высоких давлений в самом начале процесса, когда связующее обладает высокой текучестью, может привести к значительному вытеканию его. Лишь после того как произойдет некоторая поликонденсация и снизится текучесть, можно поднять давление до максимальной величины. Например, при прессовании стеклотекстолита рекомендуется медленно повышать давление от 10—15 до 50—60 кгс/см².

Во избежание прилипания прессматериала к прокладочным листам нередко применяют их смазку и прокладывают целлофаном (для стеклотекстолита).

При прессовании слоистых пластиков происходят обычные процессы расплавления связующего и более глубокой пропитки ткани, а также поликонденсация связующего с образованием трехмера. После прессования следует охлаждение полученных листов и плит во избежание их коробления посредством пропускания холодной воды внутри плит пресса. Плиты охлаждают до 20, в некоторых случаях до 40—50° С. Следует учитывать значительную электризацию плит при прессовании, поэтому этажные прессы должны иметь надежное заземление.

При прессовании из слоистых материалов фасонных изделий раскрой и набор пакета нередко являются довольно сложными операциями. Например, при изготовлении бесшумных текстолитовых передаточных шестерен вначале вырубают из пропитанной ткани сегменты, из которых набирают обод шестерни. При наборе сегменты смещают по окружности, что выравнивает механические свойства изготавливаемой шестерни. Остатки ткани рубят штампом. Полученную таким образом текстолитовую крошку применяют для менее ответственных частей шестерни и других изделий. Набор сегментов прессуют при температуре 60—70° С и удельном давлении 300 кгс/см². Заготовку средней части шестерни составляют из крошки, обложенной с обеих сторон профилированными шайбами из пропитанной ткани. Затем составляют заготовку всей шестерни, таблетируют при 70° С, прессуют при 160—170° С и

давлении 300 кгс/см^2 в течение 25 мин. Отпрессованную шестерню нагревают в минеральном масле при 130°C в течение 12 ч для полного отверждения смолы и снятия внутренних напряжений.

Режимы прессования даны в табл. III-2.

Таблица III-2
Режим прессования слоистых пластиков

Материал	Температура прессования, $^\circ \text{C}$	Удельное давление, кгс/см^2	Выдержка, мин/мм толщины изделия
Текстолит	150—160	60—125	4—5
Стеклотекстолит	160	20—50	4—5
Асботекстолит	150—160	95	4—5
Гетинакс	150—160	≤ 120	5
Древесно-слоистые пластики	150—160	100—150	4—5

ЛИТЬЕВОЕ ПРЕССОВАНИЕ

Литьевое прессование термореактивных материалов, называемое также трансферным, применяют в тех случаях, когда нельзя или нецелесообразно использовать прямое (компрессионное) прессование. Например, его применяют для получения изделий с тонкой арматурой, которая может деформироваться при прямом прессовании, или же для изделий сложного профиля, требующих высокой текучести. Характерные отличия литьевого прессования от компрессионного следующие:

1) загрузочная камера (тигель) для прессматериала не является продолжением оформляющей полости — они соединяются посредством литникового канала;

2) прессматериал расплавляется в загрузочной камере;

3) прессформа замыкается перед загрузкой, и расплавленный материал заливается из загрузочной камеры через литниковый канал в оформляющую полость.

Для литьевого прессования применяют специальные прессы с двумя рабочими плунжерами или же обычные прессы, приспособленные для этой цели.

В первом случае (рис. III-37, а) материал загружают в камеру 1, прессформу замыкают верхним рабочим плунжером и расплавленный материал поднятием нижнего плунжера 2 нагнетается в гнезда 3 через разводящие (литниковые) каналы 4. В гнездах происходит оформление и отверждение материала в виде готовых изделий. Для их извлечения поднимают верхний плунжер и подвижную плиту, к которой прикреплены верхняя половина прессформы. Мощность литьевого пресса определяется дробным показателем, у которого числитель обозначает мощность замыкаю-

щего, а знаменатель — мощность нагнетающего цилиндра. Мощность представляет собой усилие в тоннах. Для того чтобы не произошло размыкание прессформы, давление замыкающего цилиндра обычно превышает давление нагнетающего на 50%.

Литьевое прессование на обычном прессе (рис. 37, б) осуществляют следующим образом. На колонках пресса (или на раме) закрепляют обогреваемую обойму 8, в которую вставляют две съемные полуматрицы 9. Прессматериал загружают в матрицу и

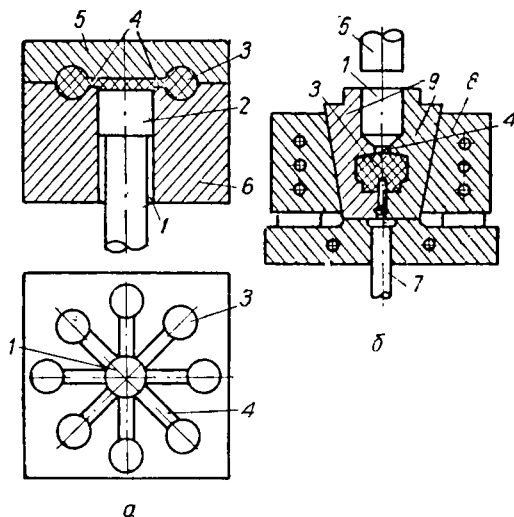


Рис. III-37. Схемы литьевого прессования:

а — на прессах с двумя рабочими плунжерами; б — на обычных прессах;
1 — загрузочная камера; 2 — нижний рабочий плунжер;
3 — гнезда (изделия); 4 — разводящие (литниковые) каналы; 5 — пуансон; 6 — матрица; 7 — выталкиватель;
8 — обойма матрицы; 9 — съемные полуматрицы.

после расплавления продавливают пуансоном 5 в гнездо прессформы, где изделие оформляется и отверждается при нагревании. Когда отверждение прошло, изделие выталкивается вместе с матрицей выталкивателем 7. Изделие удаляют, а полуматрицы снова закладывают в обойму для следующего цикла прессования.

ПРОФИЛЬНОЕ ПРЕССОВАНИЕ (ШТРАНГПРЕССОВАНИЕ)

Для получения труб, стержней и других профильных изделий наряду с экструзией применяется профильное прессование (штрангпрессование). Сущность его заключается в том, что

прессматериал продавливается через профилирующую форму с открытыми входным и выходным отверстиями. В процессе продавливания происходит формование и получение данного профиля, а в случае применения термореактивных материалов — также их отверждение.

Профильное прессование термопластов, например винипласта, осуществляют на горизонтальном прессе (рис. III-38). В материальный цилиндр или лоток, расположенный перед ним, закладывают горячий вальцованный винипласт в виде рулона. После этого в главный цилиндр 1 подают рабочую жидкость высокого давления, а цилиндр обратного действия 3 соединяют с магистралью низкого давления. Главный (рабочий) плунжер 2 продавливает винипласт через обогреваемый материалый цилиндр 5 и оформляющую головку 7.

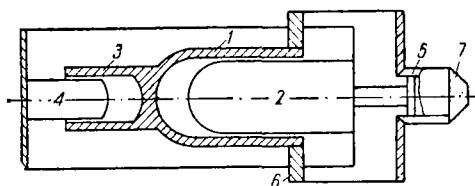


Рис. III-38. Пресс профильного прессования для термопластичных материалов:

1 — рабочий (главный) цилиндр; 2 — рабочий плунжер; 3 — цилиндр обратного действия; 4 — плунжер обратного действия; 5 — обогреваемый материалый цилиндр; 6 — неподвижная плита; 7 — оформляющая головка с мундштуком.

Предварительно производят подпрессовку при низком давлении (25 кгс/см^2), а затем прессование при удельном давлении на массу $400\text{--}500 \text{ кгс/см}^2$ и температуре винипласта 200°C . Массовая скорость выхода профиля $\sim 1 \text{ кг/мин}$. При получении труб внутрь мундштука вставляют сердечник (дорн), оформляющий внутреннюю поверхность трубы. Обогрев материалого цилиндра — водяной или паровой, а головки — электрический. Оформленное изделие (трубы, профили), вышедшее из мундштука, отрезают и принимают на желоб для охлаждения. Трубы небольшого диаметра ($\leq 120\text{--}130 \text{ мм}$) охлаждают при вращении на роликах, расположенных в желобе, так как иначе они принимают овальное сечение под действием собственной тяжести. Для труб большего диаметра обкатка недостаточно эффективна и следует применять охлаждение под небольшим внутренним давлением.

Для получения труб и профилей с достаточно высокими показателями механической прочности необходимо обеспечить значительное уплотнение, которое достигается при соотношении площадей сечения материалого цилиндра и оформляющей щели головки, равном 10:1. Для лучшего уплотнения в месте перехода материалого цилиндра в мундштук устанавливают решетку. Несмотря на то, что процесс профильного прессования является периодическим, профиль получается непрерывным, так как выдавливается не вся масса и новая загрузка сваривается с остатком от предыдущего цикла.

Профильный горизонтальный пресс для формирования термореактивных материалов (рис. III-39) состоит из чугунной станины 1, на которой закреплены неподвижные плиты 2 и 8, соединенные колоннами 6. По колоннам перемещаются подвижные плиты 4 и 5.

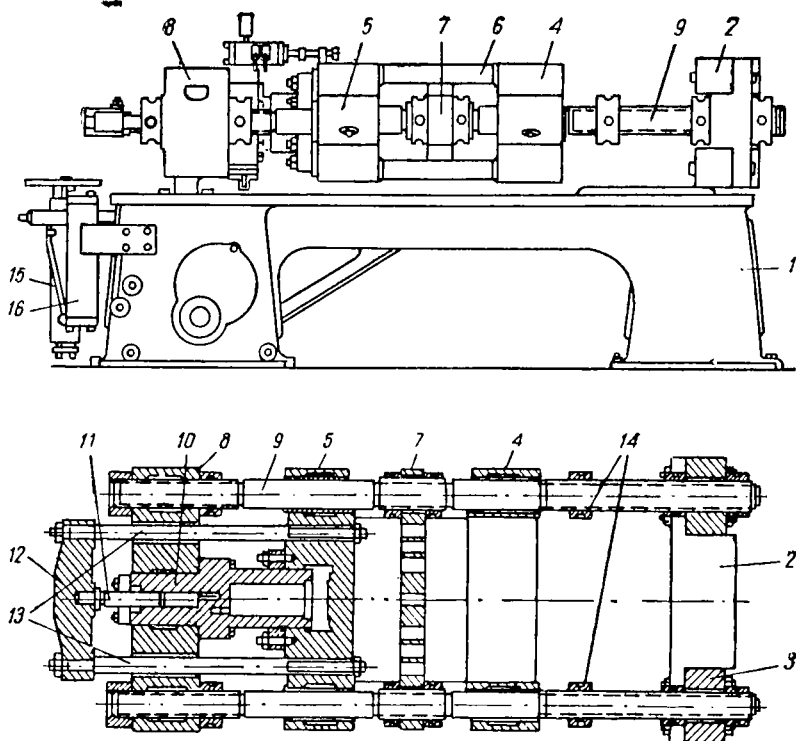


Рис. III-39. Пресс профильного прессования для термореактивных материалов:

1—станина; 2—плиты стола; 3—стойки стола; 4—передняя подвижная плита; 5—задняя подвижная плита; 6—колонны плит; 7—мост; 8—неподвижная плита; 9—колонны пресса; 10—неподвижный плунжер рабочего цилиндра; 11—плунжер обратного хода; 12—плита плунжера обратного хода; 13—тяги плунжера обратного хода; 14—гайки; 15—регулятор давления; 16—дистрибутор.

Оформляющая головка пресса для профильного прессования (рис. III-40) состоит из обоймы обогрева 8, обоймы охлаждения 9, матрицы 4, мундштука 14 с зажимной гайкой 5, поршня с фланцем 13 и загрузочного бункера 1. Внутренний канал головки включает в себя материальную (загрузочную) полость 2, коническую переходную полость 12 и профилирующую зону 11. Фланец 13 служит для прикрепления головки к плите пресса (см. рис. III-38).

Обогрев производится электрическими элементами 7. Охлаждаемая и обогреваемая обоймы отделены одна от другой асбестовой или воздушной теплоизоляцией. Работа пресса заключается в следующем. Термореактивный порошкообразный материал загружается через бункер в загрузочную полость и отсюда передавливается поршнем в переходную и профилирующие зоны головки. В конической зоне материал размягчается и уплотняется, а в профилирующей приобретает требуемую форму. Окончательное оформление изделия происходит посредством разрезного мундштука и зажимной гайки. Отверждение материала начинается в матрице и

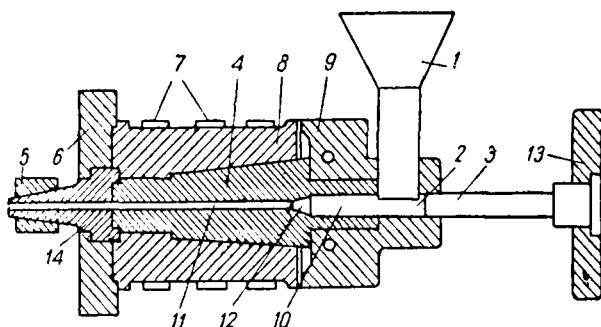


Рис. III-40. Оформляющая головка пресса профильного прессования:

1—бункер; 2—загрузочная полость; 3—пуансон; 4—матрица; 5—зажимная гайка; 6—плита; 7—электрические элементы нагрева; 8—обойма обогрева; 9—обойма охлаждения; 10—пуансонная зона; 11—профилирующая зона; 12—переходная зона; 13—фланец; 14—мундштук.

заканчивается в мундштуке. Режим прессования определяется составом прессматериала и типом изделия. Для фенопластов температура материала принимается равной $160\text{--}180^\circ\text{C}$, а для аминопластов $140\text{--}160^\circ\text{C}$. Удельное давление прессования составляет $1000\text{--}1400\text{ кгс/см}^2$ в зависимости от конфигурации и размеров получаемого профиля. Длительность пребывания материала в головке составляет $1,2\text{--}2,6\text{ мин}$, скорость выхода готового изделия $5,4\text{--}10,8\text{ м/ч}$.

Штрангпрессование является менее совершенным методом получения профильных изделий, чем экструзия, и вытесняется ею. Однако в отдельных случаях, например для получения труб и профилей из фторлона-4, профильное прессование удобнее вследствие прямолинейного характера перемещения материала, которое способствует более легкому и равномерному формованию полимера.

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ИЗДЕЛИЙ МЕТОДОМ ПРЕССОВАНИЯ ИЗ ТЕРМОРЕАКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Производственный травматизм В прессовочных производствах возможны механические травмы, ожоги, поражения электротоком и воздействие воздуха, загрязненного вредными газами и пылью, на организм. Происходит также значительное тепловыделение горячими прессформами и плитами.

Требование, запрещающее работу на неисправном оборудовании, имеет особое значение при прессовании, так как работа при неисправном механизме смыкания и других дефектах пресса может привести к тяжелым увечьям. Категорически запрещаются загрузка прессматериала и другие виды ручного воздействия на прессформу при опускании плиты на прессе с верхним давлением и при подъеме ее на прессе с нижним давлением.

При установке стационарных прессформ подвижная плита должна поддерживаться прочной подставкой.

Неисправность электроизоляции может привести к поражению электротоком, поэтому не допускается оголение электропроводов.

Все неисправности пресса должны устраняться только специальным обслуживающим персоналом: слесарем-наладчиком, электромонтером и др. Перед допуском на рабочее место обязателен специальный инструктаж.

Мероприятия по охране труда Содержание вредных газов и пыли, в воздухе производственных помещений, не должно превышать следующие предельно допустимые количества (в $мг/м^3$):

Фенол	5
Формальдегид	1
Хлористый водород	5
Хлористый винил	30
Хлор	1
Свинец	0,01
Пыль стеклянного и минерального волокну	3
Пыль фенопластов и амionoпластов	6

Температура воздуха в отделениях таблетирования и механической обработки не должна превышать $16^{\circ}C$, в прессовом отделении она должна быть в пределах $16-25^{\circ}C$.

Подвижность воздуха в отделениях таблетирования и механической обработки должна составлять $0,3-0,5 м/сек$, в прессовом отделении — $0,7-1,2 м/сек$.

Для того чтобы обеспечить нормальные условия труда при производстве изделий из термореактивных материалов методом прессования, должен быть выполнен комплекс мероприятий, уста-

новленных нормами Государственного комитета Совета Министров СССР по делам строительства — СН 178-61, изложенными в «Указаниях по проектированию отопления и вентиляции цехов производства прессизделий из пластических масс». Часть из них приведена ниже.

1. Комплекс мероприятий по противопожарной профилактике производства изделий прессованием должен отвечать требованиям, предъявляемым к цехам, которые по пожарной опасности относят к категории В.

2. Все отделения цеха должны быть размещены в самостоятельных помещениях.

3. Все основные и вспомогательные процессы должны быть всемерно механизированы.

4. Для того чтобы обеспечить чистоту воздуха в соответствии с изложенными требованиями и удалить избыток тепла, цех должен быть оборудован следующими вентиляционными системами: 1) удаляющими воздух от местных отсосов и укрытий технологического оборудования; 2) общеобменной вентиляцией и 3) приточной вентиляцией.

Вытяжные вентиляционные системы, отсасывающие воздух с большим содержанием пыли (отделение таблетирования и др.), должны исключать возможность образования искры, электродвигатели этих систем должны иметь взрывобезопасное исполнение, для отвода статического электричества воздухопроводы и оборудование систем должны быть заземлены. Вентиляционные установки, располагаемые на конструкциях, должны быть снабжены устройствами по виброгашению.

Электродвигатели вентиляторов вытяжных систем должны быть заблокированы с электродвигателями технологического оборудования.

5. Отопление производственных помещений осуществляется системами приточной вентиляции, в небольших помещениях устанавливаются местные нагревательные приборы (радиаторы).

6. Уборка помещений производится при помощи централизованных пылесосных систем.

Глава

IV

ЛИТЬЕ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Литье под давлением, называемое также инъекцией или шприцгусом, — наиболее производительный метод получения высококачественных изделий из пластмасс. Схема действия литьевой машины представлена на рис. IV-1. Гранулы полимера размягчаются в нагревательном (инжекционном) цилиндре 2 литьевой машины до вязкотекучего состояния, и полученный расплав

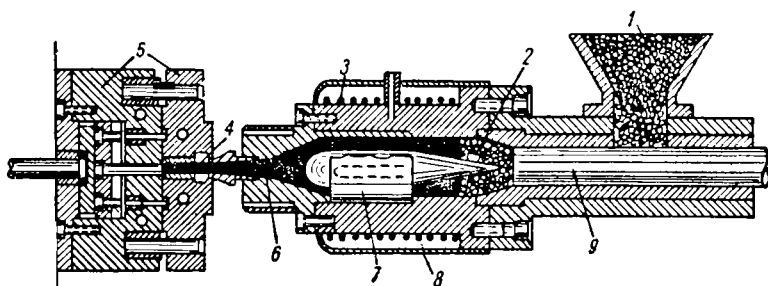


Рис. IV-1. Схема действия литьевой машины:

1—бункер; 2—инжекционный цилиндр; 3, 8—электрообогрев; 4—литниковый канал; 5—прессформа; 6—сопло; 7—торпеда; 9—поршень.

впрыскивается поршнем 9 через мундштук (форсунку) с соплом 6, литниковый и разводящие каналы в гнезда охлаждаемой прессформы 5, которая после этого немного отодвигается от сопла во избежание теплообмена между ними. Расплав охлаждается в гнездах и затвердевает. Затем прессформа размыкается, и оформленное изделие выталкивается из нее. Процесс оформления материала в изделие, получаемое с высокой степенью точности, протекает чрезвычайно быстро: один цикл — за 20—30 сек, а в быстросходных машинах — за 3—5 сек.

Все операции литья под давлением автоматизированы и управляются специальным реле времени, регулирующим продолжительность всего цикла.

На литьевых машинах обычно перерабатывают термопласты.

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ

Параметры, от которых в основном зависит качество отлитого изделия, следующие: температура расплава, температура прессформы, удельное давление инъекции (расплава) и продолжительность выдержки под давлением.

Температура расплава определяет его вязкость, плотность и во многих случаях структуру.

Кристаллические полимеры при нагревании переходят в аморфное состояние, что сопровождается их расширением, кроме того, происходит термическое расширение материала (например, полистирол при нагревании до 232°C увеличивает объем на 9%).

Слишком высокая температура расплава может привести к деструкции полимера. Это вызывает понижение прочности изделия, а также частичное обугливание массы и газовыделение. При повышенной температуре наблюдается окисление полиэтилена и некоторых других полимеров кислородом воздуха, приводящее к частичной сшивке, снижению эластичности и другим нежелательным последствиям.

При охлаждении расплава вначале остывает и сжимается его наружный слой. В связи с низкой теплопроводностью полимеров соседний слой охлаждается значительно позже. Это приводит к образованию усадочных напряжений. Следовательно, при холодных стенках прессформы величина усадочных напряжений будет больше.

Структурные изменения, происходящие при охлаждении расплава в прессформе, оказывают влияние на физико-механические свойства изделий. Полиэтилен, полиамиды и другие кристаллические полимеры в той или иной степени восстанавливают кристаллическую структуру, что сопровождается значительной усадкой. Например, плотность кристаллической фазы полиэтилена равна 1, а аморфной $0,84 \text{ г/см}^3$, следовательно, кристаллизация полиэтилена сопровождается значительным уменьшением объема (помимо термического сжатия). Быстрое охлаждение кристаллических полимеров приводит к тому, что большая часть аморфной фазы остается незакристаллизованной.

При хранении и эксплуатации изделий может происходить самопроизвольный переход аморфной структуры в кристаллическую (например, для полиэтилена наблюдалось повышение кристалличности на 6% за 1300 суток). Это сопровождается соответствующим изменением размеров и механических свойств изделий.

Наряду с усадочными напряжениями имеются ориентационные напряжения, вызванные ориентирующим действием течения на макромолекулы полимера. Слой расплава, расположенный у стенки прессформы, охлаждается и замедляет свое движение, в то

время как соседний слой продолжает двигаться с большей скоростью. Взаимодействие между этими слоями приводит к распрямлению молекул и их ориентации в направлении потока. При отвердевании полимера возникают так называемые замороженные напряжения, величину которых можно значительно уменьшить, повышая температуру стенок прессформы и увеличивая скорость ее заполнения расплавом. На практике обычно впрыскивают расплав в слегка нагретые — чаще всего до 50—70° С — прессформы.

Нередко изделия подвергают отжигу: нагревают до температуры, при которой деформация еще не происходит, и затем медленно охлаждают. Отжиг до температуры более низкой, чем температура стеклования, способствует снятию или более равномерному распределению усадочных напряжений, но не влияет на ориентационные напряжения, возникающие, как известно, при температурах, средних между температурами стеклования и текучести.

Усадочные напряжения часто приводят к растрескиванию изделий, особенно при наличии арматуры, так как термический коэффициент расширения полимеров в несколько раз выше, чем металлической арматуры.

Давление, оказываемое на расплав, должно быть достаточным для того, чтобы он продавливался внутри инжекционного цилиндра и через сопло в прессформу, а также для заполнения прессформы при требуемой текучести полимера. Излишнее давление повышает расход энергии и ускоряет износ машины и прессформы.

Величина удельного давления инъекции определяется вязкостью расплава, которая зависит от молекулярного веса и температуры. Чем меньше вязкость расплава, тем ниже удельное давление. Увеличив площади сечения литниковых и разводящих каналов и диаметр сопла, также можно уменьшить удельное давление, но в этом случае увеличивается литник.

Характер изменения вязкости полимера при повышении температуры в значительной степени зависит от структуры. Полимеры аморфной структуры, например полистирол и эфирцеллюлозные этролы, сохраняют пластичность в довольно широком температурном интервале (30—40 град и выше), тогда как полимеры с высокой степенью кристалличности, например полиэтилен и многие полнамиды, приближаются к капельно-жидкому состоянию при узкой температурной зоне пластичности (5—7 град). Поэтому регулирование температуры литья кристаллических полимеров должно быть более точным.

Передача тепла от нагретой стенки инжекционного цилиндра к полимерам затрудняется вследствие низкой теплопроводности полимеров, значение которой (в $\text{м}^2/\text{ч}$) рассчитывается по

формуле:

$$a = \frac{\lambda}{\rho c}$$

где λ — коэффициент теплопроводности, $\text{ккал}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{град})$;

ρ — плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$;

c — удельная теплоемкость полимера, $\text{ккал}/(\text{кг} \cdot \text{град})$.

Теплопроводность полимеров в десятки и сотни раз ниже теплопроводности металлов.

Теплоемкость полимеров увеличивается при нагревании, причем особенно сильно возрастает для кристаллических полимеров при их плавлении (в связи с переходом из кристаллического в аморфное состояние).

Во избежание перегрева разность температур между стенкой цилиндра и полимером обычно не больше $40\text{—}50$ град. При таком небольшом температурном напоре для прогрева массы требуется значительная поверхность теплопередачи, т. е. большая длина инжекционного цилиндра. Это неудобно по ряду причин, поэтому для быстрого и равномерного разогрева полимера применяют торпеды и предпластикаторы.

Полимеры в условиях переработки литьем под давлением имеют заметную сжимаемость. Например, полистирол при 230°C и $1115 \text{ кгс}/\text{см}^2$ сжимается на $6,8\%$, а полиэтилен при $120\text{—}130^\circ\text{C}$ на каждые $70 \text{ кгс}/\text{см}^2$ — на 1% . Следовательно, с увеличением давления масса отлитого изделия тоже увеличивается. Усадка при этом уменьшается и прочность изделия повышается. В том случае, когда применяется повышенное давление инъекции, извлечение изделия из прессформы может быть затруднено.

Изменение давления в прессформе за цикл литья показано на рис. IV-2.

Участок I соответствует движению полимера до прессформы — давление (избыточное) в ней отсутствует. На участке II расплав заполняет прессформу — давление увеличивается. На участке III осуществляется уплотнение расплава в прессформе — давление после ее заполнения повышается за счет дополнительной подачи расплава. На участке IV вследствие охлаждения происходит уменьшение объема расплава, сопровождающееся падением давления, которое компенсируется добавочной подачей расплава (подпиткой). Участок V соответствует ча-

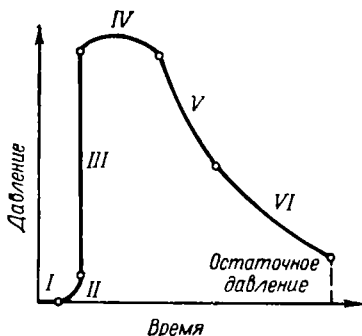


Рис. IV-2. Изменение давления в прессформе за цикл литья:

I — движение полимера до прессформы; II — заполнение прессформы расплавом; III — уплотнение расплава; IV — охлаждение расплава; V — частичное вытекание расплава из прессформы; VI — окончание отвердевания.

Участок I соответствует движению полимера до прессформы — давление (избыточное) в ней отсутствует. На участке II расплав заполняет прессформу — давление увеличивается. На участке III осуществляется уплотнение расплава в прессформе — давление после ее заполнения повышается за счет дополнительной подачи расплава. На участке IV вследствие охлаждения происходит уменьшение объема расплава, сопровождающееся падением давления, которое компенсируется добавочной подачей расплава (подпиткой). Участок V соответствует ча-

стичному вытеканию незатвердевшего расплава из прессформы — давление уменьшается (поршень движется назад). Затвердевший материал закупоривает литниковый канал, и вытекание прекращается. На участке VI продолжается и заканчивается отвердевание изделия.

С увеличением длительности рабочего хода поршня увеличивается степень уплотнения и уменьшается количество расплава, вытекающего из прессформы.

Давление инъекции лишь частично (50—70%) передается в прессформу. Остальное теряется на уплотнение гранулированного материала и преодоление сопротивления движению расплава. Величина потерь зависит от вязкости полимера, конструкции и размеров инъекционного цилиндра, литниковых каналов и оформляющих гнезд.

ЛИТЬЕВЫЕ МАШИНЫ

В основном применяется следующая классификация литьевых машин:

- 1) по управлению — автоматические, полуавтоматические и ручные;
- 2) по приводу — механические или электромеханические, гидравлические, гидромеханические, а также менее распространенные пневматические и пневмогидравлические;
- 3) по положениям плоскости разъема прессформы и инъекционного цилиндра — горизонтальные, вертикальные и угловые;
- 4) по количеству инъекционных цилиндров — одно- и многоцилиндровые;
- 5) по конструкции инъекционного устройства — поршневые и червячные (шнековые).

Кроме того, литьевые машины различаются по наличию предпластикатора, вращающегося стола (ротационные, или карусельные) и по другим признакам.

Наибольшее распространение получили горизонтальные литьевые машины. Они отличаются удобством обслуживания и простотой удаления готовых изделий.

Вертикальные машины наиболее удобны при съемных формах. Обычно они бывают небольшой мощности.

Угловые машины, применяемые преимущественно для литья крупных изделий, бывают двух типов: 1) с горизонтальным инъекционным цилиндром и вертикальным разъемом формы; 2) с вертикальным инъекционным цилиндром и горизонтальным разъемом формы.

Основные узлы литьевых машин: дозирующее устройство, инъекционный (материальный) цилиндр, привод узла впрыска, механизм затвора (смыкания) и станина. Многие литьевые машины снабжены предпластикаторами.

Дозирующее объемное устройство (рис. IV-3) работает следующим образом. В дозировочный цилиндр 2 входит поршень 7, соединенный винтом 9 с кронштейном 1, который закреплен на штоке инжекционного поршня литьевой машины и перемещается в соответствии с движением последнего. Дозировочный поршень 7

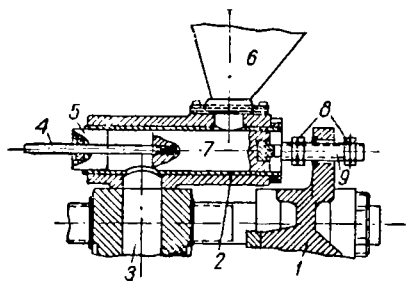


Рис. IV-3. Объемное дозирующее устройство:

1 — кронштейн (монтируется на штоке механизма впрыскивания); 2 — дозировочный цилиндр; 3 — переход к инжекционному цилиндру; 4, 9 — винты; 5 — ограничительный поршень; 6 — бункер; 7 — дозировочный поршень; 8 — регулировочные гайки.

и ограничительный поршень 5 так соединены винтом 4, что между ними образуется дозировочная камера регулируемого объема. Величину хода поршней можно менять с помощью гаек 8. В крайнем правом положении поршней камера устанавливается против верхнего отверстия цилиндра 2 и в нее поступают гранулы из бункера 6. В крайнем левом положении материал через нижнее отверстие дозировочного цилиндра попадает в канал перехода 3, а затем в инжекционный цилиндр литьевой машины.

Кроме объемного дозирования, применяется также весовое,

сложное по устройству, но более точное, так как его работа не зависит от гранулометрического состава материала. Сущность весовой дозировки заключается в том, что гранулы из бункера пересыпаются посредством вибрирующего лотка в чашку весов. По достижении определенного веса материала чашка опускается и замыкает контакт, выключающий вибратор и прекращающий таким образом загрузку.

Инжекционный цилиндр, называемый также материальным, или нагревательным, представляет собой цилиндрический корпус, внутри которого помещена торпеда (рассекатель), а снаружи имеются обогревающие устройства. В инжекционном цилиндре расположен инжекционный поршень. Основное требование к инжекционному цилиндру — обеспечить прогрев материала до температуры впрыска, но без перегрева, который мог бы вызвать деструкцию полимера.

Торпеда заставляет расплав протекать тонким слоем у стенок цилиндра. Это ускоряет прогрев и придает более равномерную температуру расплаву. Обычно применяют стационарные торпеды, реже — вращающиеся. Стационарная торпеда закрепляется на фланце, который снабжен по окружности отверстиями для прохода расплава и опирается на внутреннюю поверхность инжекционного цилиндра.

Вращающаяся торпеда расположена на двух рядах шариков, работающих как шариковые подшипники. На средней ее части

имеются наклонные канавки, проходя по которым расплав вращает торпеду. При этом достигается дополнительное тепловыделение, перемешивание и пластикация материала. Теплопередачу можно увеличить применением ребристых торпед.

Обогрев инжекционных цилиндров, сопла и предпластиков обычно осуществляется хомутовыми омическими нагревателями (называемыми также кольцевыми ленточными нагревателями сопротивления), в которые вставлены плоские или трубчатые элементы. Плоские элементы представляют собой миканитовую полосу, обмотанную нихромовой лентой, а трубчатые состоят из керамических колец с каналами, в которых уложены нихромовые спирали. Основными недостатками омического нагрева являются значительная разность температур между спиралью и расплавом (что может привести к перегреву), а также ускоренный износ, недостаточная эффективность и значительная тепловая инерция, так как тепло от электроспиралей должно пройти через изоляцию и стенку цилиндра. Это затрудняет контроль и регулировку температуры. Для снижения тепловых потерь применяют теплоизоляцию и рефлекторы, возвращающие тепло излучения; кроме того, для более равномерного обогрева применяют два типа обогревающих спиралей — высокого и низкого напряжения.

При индукционном обогреве между витками нагревающих спиралей и стенками инжекционного цилиндра образуется воздушный зазор, определяющий возможность быстрого снижения температуры. Индукционный обогрев широкого распространения не получил.

Электрообогрев инжекционного цилиндра разделен на зоны, количество которых возрастает с увеличением мощности машины. Выключение обогрева при регулировке температуры производится по зонам или же сразу для всего обогрева.

Для автоматического регулирования температуры зон применяют контактные манометрические термометры, контактные

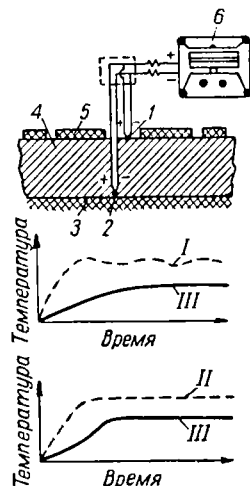


Рис. IV-4. Схема автоматического регулирования температуры инжекционного цилиндра с использованием термопар в качестве датчиков:

- 1 — поверхностная термопара;
- 2 — заглубленная термопара;
- 3 — стенка инжекционного цилиндра;
- 4 — термопласт;
- 5 — электрообогревающие элементы;
- 6 — терморегулятор;
- I — кривая изменения температуры при установке одной поверхностной термопары;
- II — кривая изменения температуры при установке двух спаренных термопар — поверхностной и заглубленной;
- III — требуемая кривая изменения температуры термопласта.

гальванометры с фотоэлементом и электронные потенциометры. В качестве датчиков обычно применяют копель-хромелевые термопары. Рекомендуется применять две спаренные термопары — поверхностную и заглубленную. На рис. IV-4 дана схема автоматического регулирования температуры инжекционного цилиндра. Кривая I показывает, что при установке одной поверхностной термопары температура устанавливается в результате довольно резких колебаний и требует некоторого времени для достижения требуемой величины, а при спаренных заглубленной и поверхностной термопарах требуемая температура достигается сразу и без значительных колебаний (кривая II).

Измерение давления расплава проводится тензометрически.

В переднюю по направлению потока часть инжекционного цилиндра ввинчивается мундштук (форсунка), через сопло которого расплав впрыскивается в прессформу. Сопло должно соответствовать размерам литникового канала, поэтому для каждой машины имеется набор мундштуков, обеспечивающий возможность замены прессформы при изменении ассортимента отливаемых изделий. На рис. IV-5, а изображен обычный мундштук. Для уменьшения сопротивления потоку, что особенно важно для высоковязких материалов, применяют мундштуки свободного истечения (рис. IV-5, б), у которых гидравлическое сопротивление снижено за счет укороченного сопла. Для литья кристаллических полимеров, например полиамидов, нередко используют мундштуки с обратным конусом

(рис. IV-5, в). Они удобны для удаления застывшего материала при нарушении температурного режима. Во избежание вытекания из сопла при его отходе от литникового канала прессформы расплава кристаллического полимера, имеющего обычно высокую текучесть из-за малого интервала пластичности (у смешанных полиамидов этот интервал значительно шире), оно имеет запорный крап или иглу.

Сопло со штекерным крапом изображено на рис. IV-6. В нерабочем положении, т. е. в промежутке между впрыскиваниями, штекер 2 и втулка 3 давлением расплава в инжекционном цилиндре отжимаются влево и запирают расплаву выход. Когда сопло подводится к прессформе 5, наконечник 1 сопла упирается в нее и втулка перемещается вправо, открывая расплаву выход в прессформу. На рис. IV-7 изображено сопло с запорной иглой,

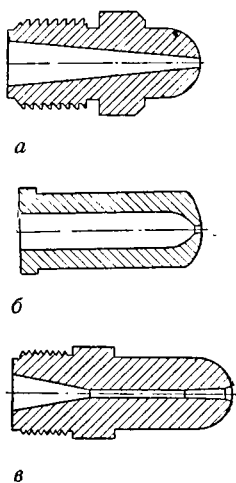


Рис. IV-5. Мундштуки:

а — обычный; б — свободного истечения; в — с обратным конусом.

открывающееся при достижении давления определенной величины. При сжатии расплавом пружины 3 игла 2 отходит вправо и происходит впрыскивание расплава в прессформу.

Недостаток приведенного на рис. IV-7 сопла, состоящий в том, что расплав омывает пружину и снижает надежность ее работы, устранен в конструкции, изображенной на рис. IV-8, где пружина расположена снаружи сопла. Расплав поступает из инжекционного цилиндра 1 по трем каналам 2 в полость сопла 3. Давление расплава передается через фигурную шайбу 7 на пружину 7, вследствие чего игольчатый клапан 5 отходит вправо, открывая отверстие 4 сопла. При обратном ходе поршня инжекционного цилиндра давление расплава в полости сопла падает и пружина перемещает клапан влево, запирая сопло. Как и в предыдущей конструкции, во избежание охлажде-

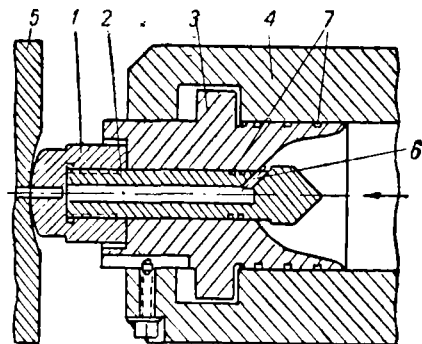


Рис. IV-6. Сопло со штеккерным краном:

1 — наконечник; 2 — штеккер; 3 — втулка; 4 — инжекционный цилиндр; 5 — прессформа; 6 — канал; 7 — выточки.

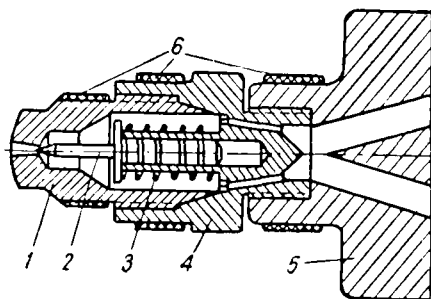


Рис. IV-7. Сопло с запорной иглой:

1 — сопло; 2 — запорная игла; 3 — пружина; 4 — втулка; 5 — инжекционный цилиндр; 6 — электрообогрев.

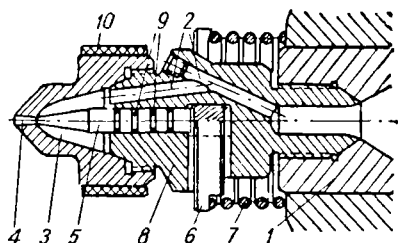


Рис. IV-8. Сопло с запорной иглой и наружной пружиной:

1 — инжекционный цилиндр; 2 — каналы; 3 — сопло; 4 — отверстие; 5 — игольчатый клапан; 6 — фигурная шайба; 7 — пружина; 8 — переходная втулка; 9 — выточки; 10 — электрообогрев.

ния расплава сопло снабжено электрообогревом 10. В некоторых случаях для вязких материалов вместо клапанов и кранов перед соплом устанавливаются решетки, препятствующие вытеканию расплава.

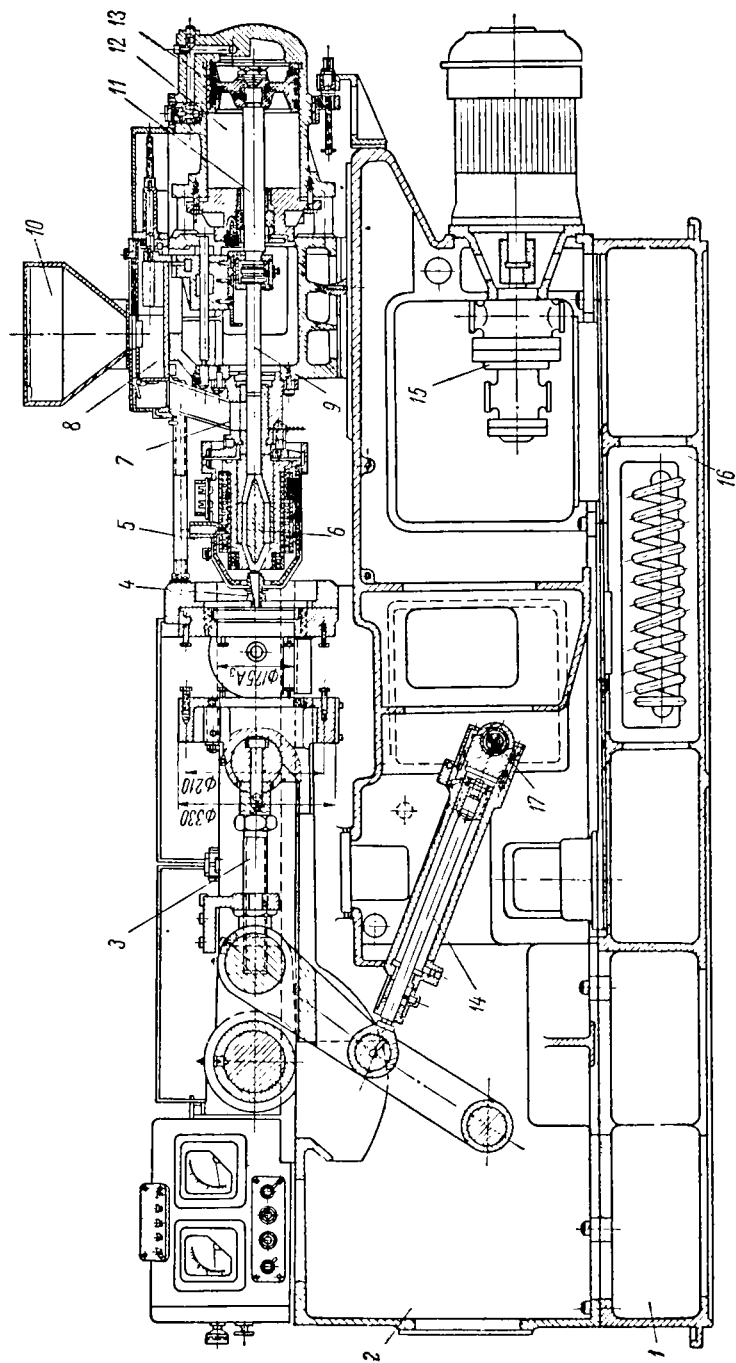


Рис. IV-9. Литьевая машина ЛМ-50:

1 — планта; 2 — станция; 3 — затвор; 4 — сопло; 5 — инжекционный цилиндр; 6 — торпеда; 7 — приемная камера; 8 — дозирующее устройство; 9 — плунжер; 10 — бункер; 11 — шток; 12 — гидравлический цилиндр блока вырысквания; 13 — гидравлический поршень; 14 — гидравлический цилиндр блока замы-
кания прессформы; 15 — масляный бак; 16 — ось качания цилиндра 14.

Для литья окрашенных полимеров с применением сухих пигментов применяются смесительные мундштуки, внутри которых расположены последовательно два перфорированных диска с диаметром отверстий ~ 1 мм.

Впрыск расплава осуществляется поршнем (плунжером) или червяком (шнеком).

На рис. IV-9 представлена литьевая машина ЛМ-50 с поршневым механизмом впрыска. Плунжер 9 соединен со штоком 11 поршня 13, который перемещается в гидравлическом цилиндре 14 под действием давления масла. При движении плунжера влево происходит впрыск расплава в прессформу, а при обратном ходе — загрузка новой порции гранул в инжекционный цилиндр 5.

При червячной инжекции в инжекционном цилиндре расположен один или два червяка, осуществляющих совмещенную пластификацию и впрыск. На рис. IV-10 изображена литьевая машина

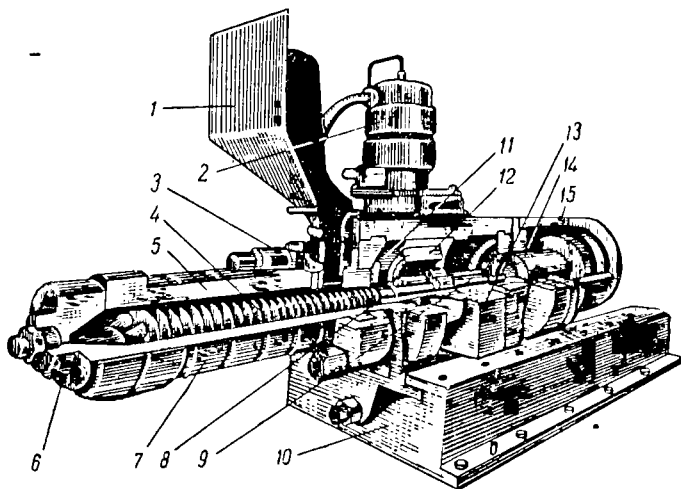


Рис. IV-10. Двухчервячная литьевая машина AP-1044 фирмы Виндзор:

1 — бункер; 2 — гидромотор; 3 — узел соединения инжекционного цилиндра с корпусом привода; 4 — червяки; 5 — инжекционный цилиндр; 6 — мундштук; 7 — нагреватели; 8 — муфта; 9 — подшипники; 10 — плита; 11 — червяк привода; 12 — зубчатое червячное колесо; 13 — манометр для контроля смазки; 14 — гидравлический поршень; 15 — гидравлический цилиндр.

AP-1044 фирмы Виндзор с червячным механизмом впрыска. Блок впрыскивания монтируется на массивной плите и комплектуется гидромотором (вместо электродвигателя) для вращательного движения двух червяков. Гидромотор обеспечивает бесступенчатое регулирование числа оборотов, а следовательно, и производительности. При этом используется очень компактная схема червячно-зубчатой передачи, в которой колесо 12 имеет нарезку как по

внутренней поверхности (прямозубая), так и по наружной (спиральная под червяк).

Схема действия литейной машины типа Виндзор дана на рис. IV-11. Материал, загружаемый из бункера 6 в инжекционный цилиндр, захватывается двумя вращающимися червяками 7, расположенными в одной горизонтальной плоскости. Вращение червяков осуществляется гидромотором 5 через редуктор 4. Червяки,

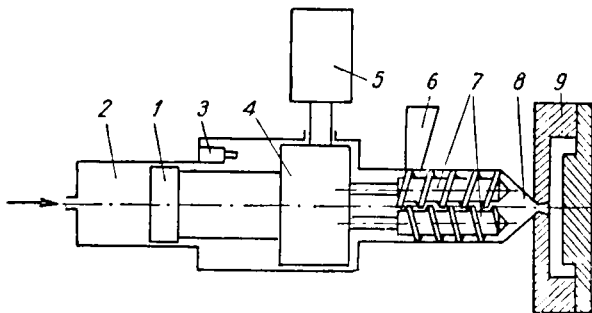


Рис. IV-11. Схема действия литейной машины типа Виндзор:

1—гидравлический поршень; 2—гидравлический цилиндр;
3—конечный выключатель; 4—редуктор; 5—гидромотор;
6—бункер; 7—червяки; 8—форкамера; 9—прессформа.

вращающиеся навстречу один другому, перемешивают и пластицируют материал, но сами отодвигаются назад под давлением нагнетаемого расплава. Когда в форкамере 8 накопится достаточное для впрыска количество расплава, срабатывает конечный выключатель 3, прекращающий вращение червяков. Затем в цилиндр 2 подается масло под давлением, и поршень 1 перемещается вправо вместе с редуктором, гидромотором и червяками, производя впрыск расплава из форкамеры в прессформу 9. После охлаждения изделий прессформа отходит от инжекционного цилиндра и раскрывается, а изделие сталкивается в тару. Описанная литейная машина — одно из наиболее удачных конструктивных решений проблемы пластикации и инъекции, совмещенных в одном цилиндре.

Замена поршневых машин червячными значительно повышает возможную мощность машины и улучшает качество изделий, кроме того уменьшается требуемое удельное давление инъекции. Например, установка инжекционного механизма с двумя червяками вместо поршня позволила повысить объем отливки с 250 до 900 см³/цикл, а на другой машине удельное давление было снижено с 1200 до 600—700 кгс/см². Червячные литейные машины

обычно не имеют торпед, так как равномерный прогрев расплава достигается и без них.

Привод литьевой машины служит для приведения в действие инжекционного поршня или червяков, а также механизма смыкания. Применяются обычно литьевые машины с гидравлическим и механическим (электромеханическим) приводом узла впрыска.

Гидравлический привод используется, например, на литьевых машинах ЛМ-50 и типа Виндзор.

Современный тип отечественной гидравлической литьевой машины — термопластавтомат ТП-63 (рис. IV-12). Внутри его ста-

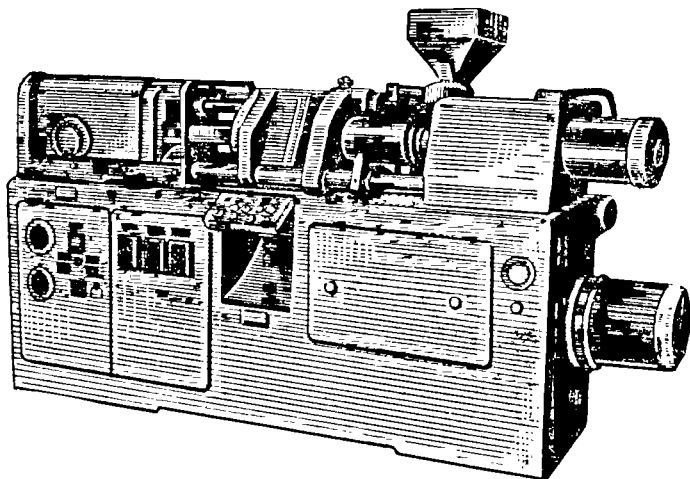


Рис. IV-12. Литьевой термопластавтомат ТП-63.

нины установлены электродвигатель, гидроаппаратура и часть электроаппаратуры.

Приборы контроля и управления смонтированы в основном на боковой панели (манометр, пульт управления, реле времени и вариаторы напряжения). Гранулы полимера загружаются в бункер и объемным дозатором подаются в инжекционный цилиндр объемом 500 см^3 , снабженный двумя зонами обогрева мощностью 0,8 и 1,6 кВт. Температура обогрева регулируется электронными потенциометрами. Пластицированный полимер передается поршнем под действием гидравлического цилиндра в прессформу. Изделия можно производить на полуавтоматическом и автоматическом режиме, с арматурой и без нее. Модернизированная машина ТП-63 имеет червячный предпластикатор.

Для литьевых машин с механическим (электромеханическим) приводом узла впрыска характерна литьевая машина типа

Баттенфельд (рис. IV-13). От электродвигателя 1 вращение передается через зубчатую передачу, кривошип и пневмогидравлический компенсатор 3 к подвижной плите и штоку.

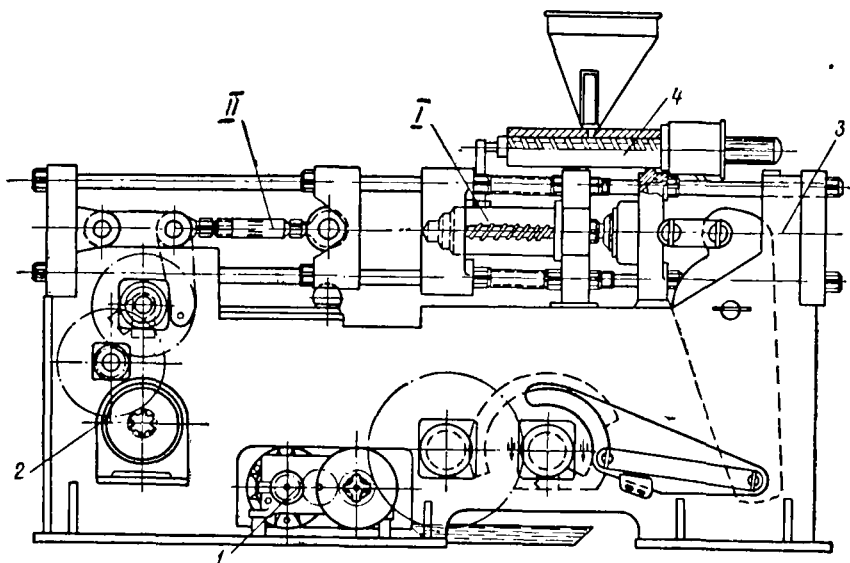


Рис. IV-13. Электромеханическая литьевая машина BSM-40S фирмы Баттенфельд:

I — блок впрыскивания; II — блок смыкания прессформы;
1 — электродвигатель блока впрыскивания; 2 — электродвигатель блока смыкания прессформы; 3 — пневмогидравлический компенсатор; 4 — червячный предпластикатор.

Механизм затвора (смыкания) предназначен для замыкания прессформы перед впрыском и ее разъема после охлаждения отливки. Он может быть гидравлическим, гидро- и электромеханическим.

При гидравлическом смыкании (рис. IV-14) на станине установлен гидравлический цилиндр 5, поршень 7 которого перемещает плиту 6, несущую подвижную половину прессформы. Гидравлический затвор отличается простотой конструкции, но требует больших размеров гидравлического цилиндра.

Гидромеханический механизм смыкания, применяемый на отечественных машинах ТП-16, ТП-32 и ТП-63, представлен на рис. IV-15. В цилиндр 1 насосом нагнетается масло, которое перемещает вправо дифференциальный плунжер 2, причем рычаги 3 и 4 поворачиваются и устанавливаются в одну линию. Подвижная плита 5, несущая левую полуформу, перемещается вправо и прессформа 6 смыкается.

При электромеханическом смыкании (рис. IV-16) вращение от электродвигателя передается через редуктор 10 зубчатому сектору 9. Во время движения сектора 9 по часовой стрелке рычаг 8 поворачивает в ту же сторону кривошип 7 и через шатун 5 перемещает плиту 4 с закрепленной на ней замыкающей полуформой.

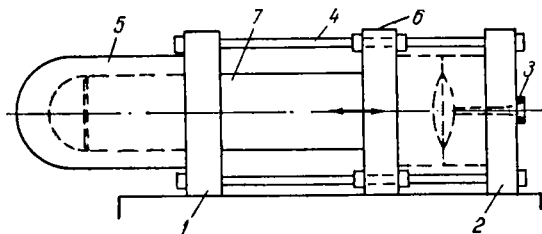


Рис. IV-14. Гидравлический механизм смыкания:

1 — задняя плита; 2 — передняя плита; 3 — литниковая втулка;
4 — колонна; 5 — гидравлический цилиндр; 6 — подвижная
плита; 7 — гидравлический поршень.

Описанный механизм смыкания прессформы применяется, например, на литьевой машине типа Баттенфельд.

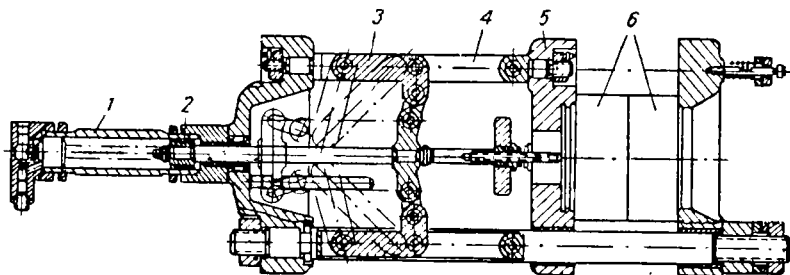


Рис. IV-15. Гидромеханический механизм смыкания:

1 — гидравлический цилиндр; 2 — дифференциальный плунжер; 3, 4 — рычаги; 5 — подвижная плита; 6 — прессформа.

Станина может быть сварной или литой из чугуна. Внутри ее помещают часть оборудования машины, например, в станине гидравлических машин располагают гидропривод, масляный бак и систему гидравлического управления. На станине устанавливают инжекционный цилиндр, блок затвора (смыкания), загрузочный бункер с дозирующим устройством, прессформу и, частично, привод.

Предпластикатор. В мощных машинах требуется прогревать значительные количества материала, что практически нельзя

осуществить полностью за счет теплопередачи от стенки цилиндра и посредством торпеды. Предварительная пластикация заключается

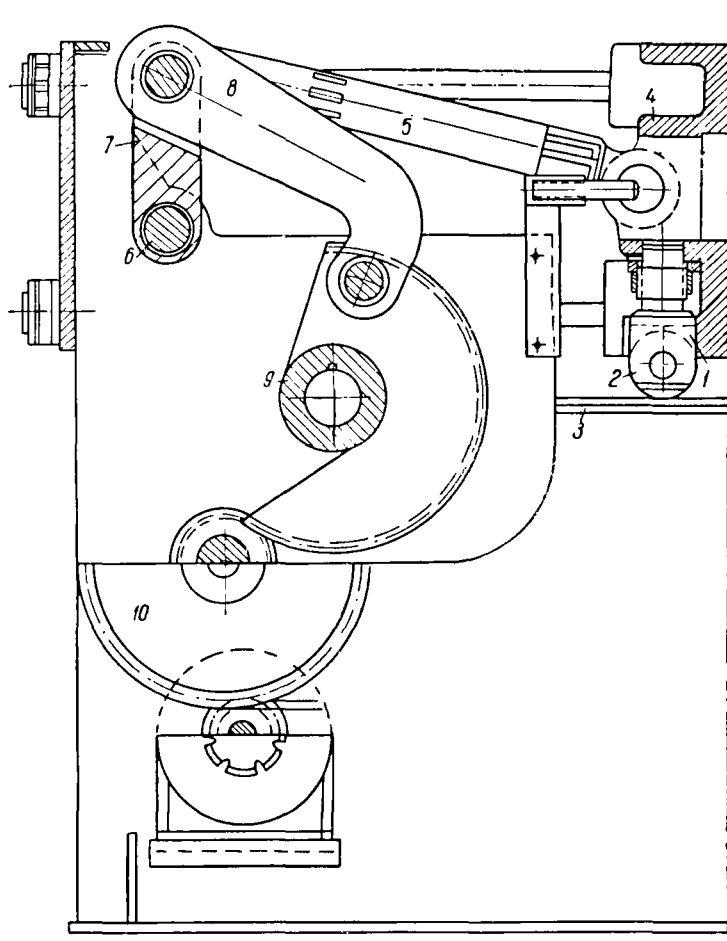


Рис. IV-16. Электромеханический механизм смыкания:

1—серьга; 2—ролик; 3—направляющая рейка; 4—подвижная плита; 5—шатун; 6—ось кривошипа; 7—кривошип; 8—рычаг; 9—зубчатый сектор с пальцем; 10—редуктор.

в следующем. Над материальным цилиндром или рядом с ним располагается предпластикатор — горизонтальная или наклонная цилиндрическая камера с обогреваемыми стенками. Внутри камеры происходит предварительный подогрев полимера до темпе-

ратуры на 30—50 град ниже температуры литья. Подогретый материал в виде расплава передается из предпластикатора в материальный цилиндр посредством поршня или червяка. В зависимости от этого различают червячную и поршневую (применяемую реже) пластикацию. В червячных предпластикаторах происходит не только подогрев, но и перемешивание материала, однако поршневые предпластикаторы проще по конструкции.

На рис. IV-17 приведена схема литьевой машины с червячным предпластикатором. Литьевой материал поступает в бункер 8, захватывается червяком 7 и перемещается по обогреваемому цилиндру 6 предпластикатора, при этом происходит нагревание, пластикация и перемешивание материала. Пластицированный материал нагнетается червяком в инжекционный цилиндр 4, проникая

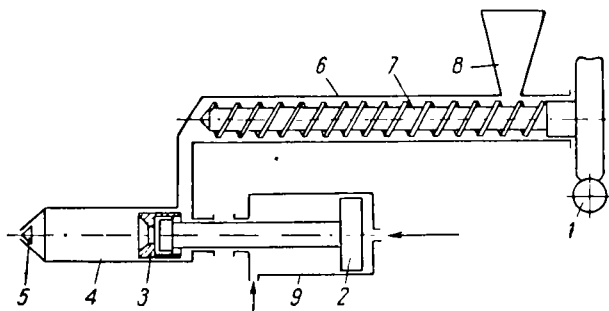


Рис. IV-17. Схема литьевой машины с червячным предпластикатором:

1—червячный редуктор; 2—плунжер; 3—инжекционная головка; 4—инжекционный цилиндр; 5—запорный кран; 6—пластикационный цилиндр; 7—червяк; 8—бункер; 9—гидравлический цилиндр.

через зазоры между штоком плунжера 2 и инжекционной головкой 3. Нередко в месте поступления расплава в цилиндр 4 устанавливают шаровой клапан, пропускающий расплав из предпластикатора, но закрывающийся при рабочем ходе плунжера 2, когда давление в цилиндре 4 превышает давление в предпластикаторе. Запорный кран 5 препятствует вытеканию расплава. После заполнения расплавленным материалом цилиндра 4 плунжер 2 двигается влево под давлением рабочей жидкости, поступающей в гидравлический цилиндр 9. Инжекционная головка при этом прижимается к штоку плунжера, кран открывается и расплав впрыскивается в форму.

Литьевая машина с предпластикацией называется двухступенчатой, без предпластикации — одноступенчатой. Встречаются также трехступенчатые литьевые машины, в которых пластикационный цилиндр отделен от инжекционного форкамерой.

Принципиальная схема одного из вариантов трехступенчатой машины, позволяющей осуществить непрерывный процесс впрыска, приведена на рис. IV-18. Полимер загружается через воронку в горизонтальный червячный пластикационный цилиндр 1, соединенный с вертикальным инжекционным цилиндром 2, внутри которого движется полый поршень 3. В нижней части этого поршня расположен шаровой клапан 4 и форкамера, а сверху — неподвижный поршень 5, прикрепленный к инжекционному цилиндру. При исходном (верхнем) положении поршня 3 полимер нагнетается

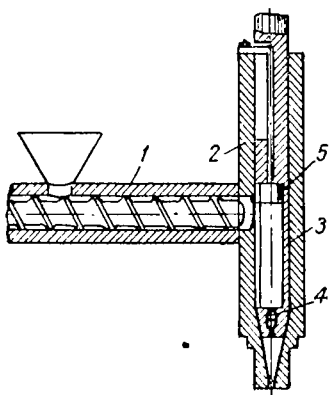


Рис. IV-18. Схема одного из вариантов трехступенчатой литейной машины:

1 — пластикационный цилиндр;
2 — инжекционный цилиндр; 3 — полый поршень; 4 — шаровой клапан; 5 — неподвижный поршень.

через этот поршень и шаровой клапан в форкамеру. Когда форкамера заполнится, начинает опускаться полый поршень, инжектирующий расплав в прессформу, но поступление расплава внутрь поршня из пластикационного цилиндра продолжается. При подъеме полого поршня вверх расплав выдавливается неподвижным поршнем.

Введение предпластиков снижает требуемую температуру нагрева в инжекционном цилиндре на ~ 50 град, инжекционное давление — на 30—40%, соответственно уменьшается усилие смыкания прессформы, а также улучшается качество изделий, вследствие лучшего перемешивания и более мягкого режима литья, сокращается длительность цикла и повышается производительность машины.

К высокопроизводительным литейным машинам относятся также карусельные, у которых один инжекционный цилиндр обслуживает несколько прессформ, расположенных на горизонтальном вращающемся столе или на барабане, движущемся вокруг горизонтальной оси.

Карусельная литейная машина, используемая для получения изделий из пластифицированного поливинилхлорида, изображена на рис. IV-19. Червячный пластикатор 3 подает расплав в обогреваемый цилиндр 6, установленный над разъемной прессформой 5. Комплект прессформы вместе с цилиндром 6 при повороте стола 1 перемещается на позицию пресса 4, поршень которого впрыскивает расплав в прессформу. С началом обратного хода поршня включается охлаждение прессформы, продолжающееся на этой позиции 2 мин, после чего поворотом стола прессформа вместе с цилиндром 6 сдвигается на следующую позицию. В пределах угла поворота 180° охлаждение прессформы продолжается до отвердевания корки изделия при еще вязком ядре. Против сосуда

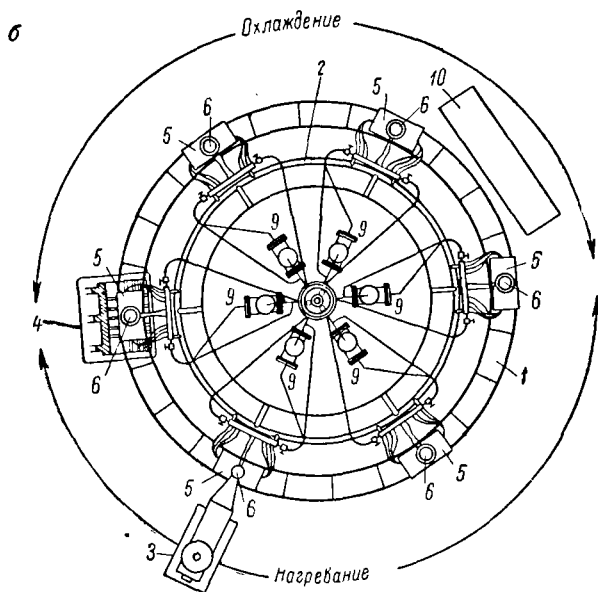
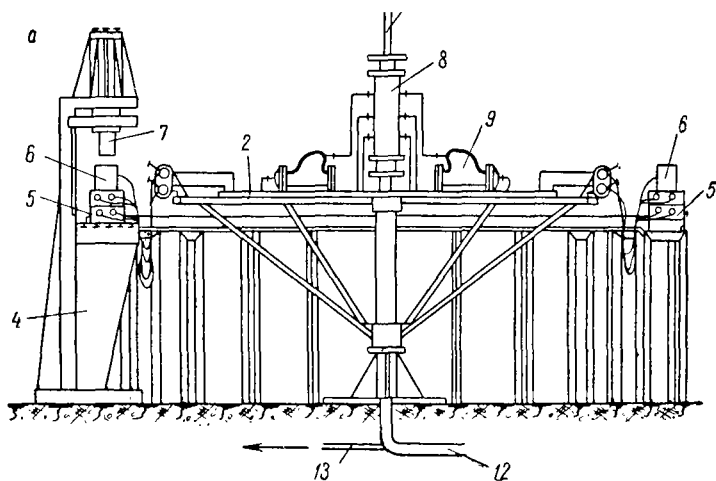


Рис. IV-19. Карусельная литейная машина с горизонтальным вращающимся столом:

а — вид сбоку; *б* — вид в плане;
 1 — карусельный стол; 2 — коллектор; 3 — червячный пластинчатый; 4 — пресс; 5 — прессформа;
 6 — обогреваемый цилиндр; 7 — поршень прессы; 8 — парораспределитель; 9 — конденсационный
 горшок; 10 — сосуд для окончательного охлаждения; 11 — штуцер для ввода пара; 12 — штуцер
 для ввода воды; 13 — штуцер для вывода конденсата.

с теплой водой прессформа раскрывается, изделие автоматически выталкивается и поступает на медленное доохлаждение в сосуд 10. Пустая прессформа подогревается паром, поступает под головку пластикатора, и цикл повторяется. На этой машине можно проводить одновременное литье разноразмерных изделий (при соответствующем чередовании прессформ).

На рис. IV-20 представлена схема действия литейной машины типа «Ротожет».

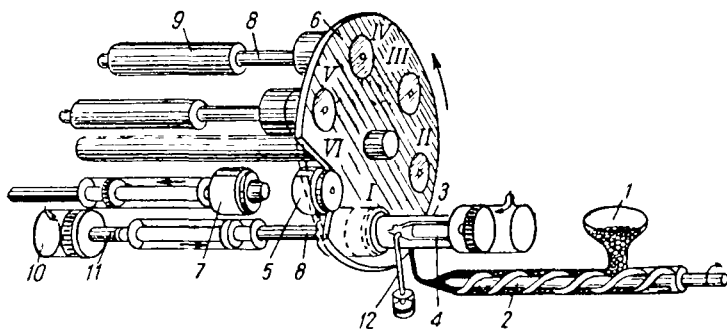


Рис. IV-20. Схема действия карусельной литейной машины типа «Ротожет»:

1—VI—позиции прессформы; 1—бункер; 2—червяк; 3—инжекционный цилиндр; 4—поршень; 5—матрица; 6—вращающийся барабан; 7—пуансон; 8—штоковый формодержатель; 9—гидравлический цилиндр; 10—силевой гидравлический цилиндр; 11—плунжер; 12—кран.

пластицируется и нагнетается в инжекционный цилиндр 3 червяком 2. При этом поршень 4 под давлением расплава подается вправо. На вращающемся барабане 6 расположены шесть или восемь матриц 5. Столько же пуансонов 7 установлены на штоковых формодержателях 8, которые перемещаются и производят предварительное смыкание под действием гидравлических цилиндров 9. Когда прессформа устанавливается в позиции I, происходит окончательное смыкание под действием силового гидравлического цилиндра 10, передающего давление через плунжер 11 и формодержатель 8. При этом сопло открывается краном 12 и расплав под давлением поршня 4 впрыскивается в прессформу. Затем плунжер 11 отходит влево и прессформа перемещается в следующие позиции, в которых она остается закрытой под действием цилиндров 9. В позициях II—V происходит охлаждение изделий, а между позициями V и VI форма раскрывается и изделие выталкивается. Если оно не вытолкнуто полностью, машина автоматически останавливается.

ПРЕССФОРМЫ

Аналогично прессформам для компрессионного прессования прессформы для литья под давлением изготавливают из различных марок стали. Материал должен выдерживать значительные удельные давления и химическое воздействие расплава. При конструировании прессформ необходимо учитывать усадку; рекомендуется следующий припуск (в %) при литье полимеров:

Поллстирол	0,3—0,8
Полнэтилен	0,5—4
Найлон	0,5—4
Ацетат целлюлозы	0,4—0,8

Прессформы для литья под давлением отличаются от прессовочных форм отсутствием загрузочной камеры и электрообогрева, наличием литниковой системы и каналов для охлаждающей воды, а также устройством крепежных частей. На рис. IV-21 представлена литьевая прессформа обычного типа, которая состоит из

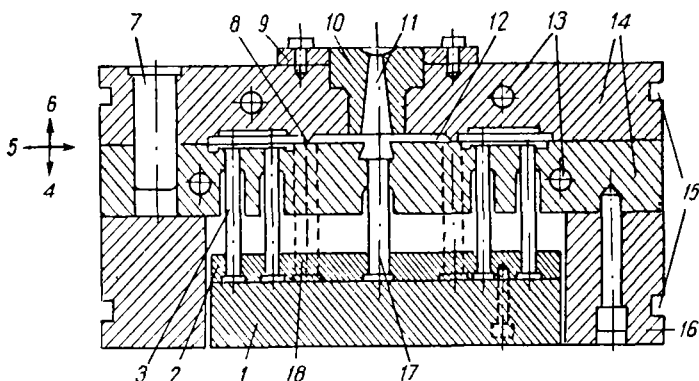


Рис. IV-21. Литьевая прессформа обычного типа:

1—нижняя соединительная планка системы толкания; 2—верхняя соединительная планка системы толкания; 3—выталкиватель; 4—подвижная часть прессформы; 5—плоскость разреза; 6—неподвижная часть прессформы; 7—направляющая колонка; 8—впуск; 9—направляющее кольцо; 10—литниковая втулка; 11—литниковый канал; 12—разводящий канал; 13—каналы для охлаждения; 14—плиты полуформ; 15—паз для крепления; 16—подкладка; 17—центральный выталкиватель (выталкиватель литника); 18—штифт для обратной посадки выталкивателя.

двух полуформ, закрепленных на плитах. В литьевой полуформе (обращенной к соплу инжекционного цилиндра) имеется литниковая втулка с коническим расширяющимся литниковым каналом. Такой канал обеспечивает минимальное охлаждение и легкое отставание литника готового изделия от литьевой полуформы. Сечение канала находится в зависимости от вязкости и удельного давления расплава и чаще всего равно 5—6 мм. Желательно

применять минимально возможные для данных условий размеры литникового канала (сечение и длину), чтобы получать минимальный литник, который быстрее охлаждается, легче отстает от литниковой полуформы и требует меньших расходов при переработке. В случае толстостенных прессформ целесообразно применять удлиненные мундштуки и укороченные литниковые втулки; иначе размеры литника будут значительными.

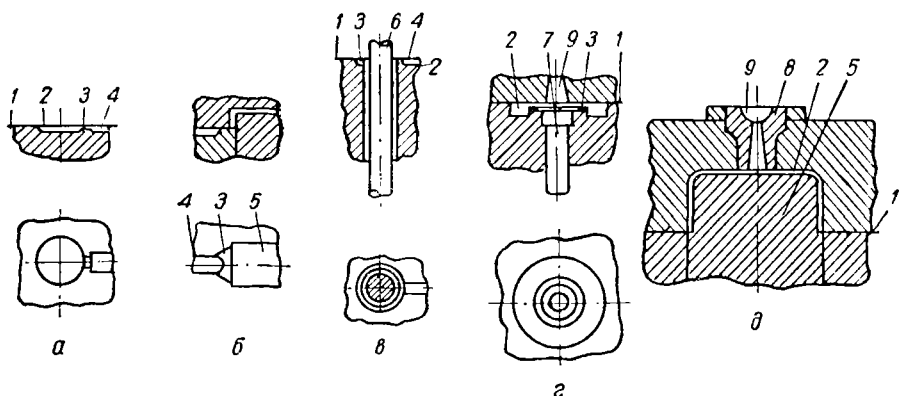


Рис. IV-22. Впуски:

а — прямой; б — веерный; в — кольцевой; г — дисковый; д — центральный;
1 — линия разреза; 2 — полость матрицы; 3 — впуск; 4 — разводящий канал; 5 — полуформа;
6 — оформляющий знак; 7 — центральный выталкиватель (выталкиватель литника); 8 — литниковая втулка; 9 — литниковый канал.

В месте соединения двух полуформ расположены разводящие каналы круглого или трапецевидного сечения. Последний тип сечения лучше удерживает изделие в замыкающей половине прессформы, что необходимо для выталкивания изделия. Этой же цели служит коническая полость, расположенная на поверхности замыкающей полуформы, обращенной к механизму смыкания. Сечение разводящих каналов увеличивается для больших изделий и при пониженной текучести расплава.

Разводящие каналы располагаются в замыкающей полуформе (чтобы удержать в ней готовое изделие при размыкании прессформы). Ширина этих каналов обычно ≤ 8 мм в наиболее широкой части, но при коротких каналах она может уменьшаться до 1,6—3,2 мм. Расположение оформляющих гнезд и разводящих каналов в прессформе изменяется в зависимости от величины изделия и характеристики расплава. Например, при отливке массивных изделий, требующих притока большого количества расплава, укорачивают его путь, располагая гнезда по окружности. Если требуется ускоренное охлаждение, располагают гнезда в два

параллельных ряда, создавая таким образом большую площадь охлаждения.

Непосредственно у гнезд сечение разводящих каналов уменьшается, образуя впуски, сужение которых облегчает отделение литника от изделий. Впуски бывают различной формы (рис. IV-22).

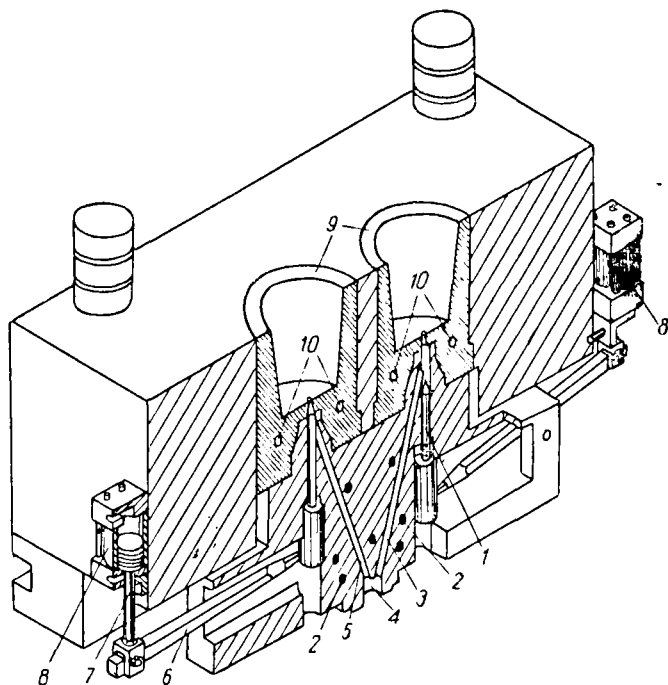


Рис. IV-23. Прессформа с клапанными впусками и обогреваемыми литниковыми каналами:

1—игольчатый клапан; 2—трубчатые элементы нагрева; 3, 5—литниковые каналы; 4—отверстие для нагнетания расплава в прессформу; 6—рычаг; 7—дифференциальный плунжер; 8—гидравлические цилиндры; 9—оформляющие гнезда; 10—каналы для охлаждающей воды.

Направляющими при смыкании прессформы служат колонка в литниковой полуформе и втулки в замыкающей. Для регулирования температуры в прессформе имеются каналы для протекающей воды.

Образование литника при литье под давлением нежелательно, так как для повторного его использования требуются операции измельчения и грануляции. Кроме того, литник, полученный при литье окисляющихся полимеров, уступает по физико-механическим свойствам исходному материалу. Часть литника теряется при подготовке для повторного литья. Поэтому значительный интерес

представляют процессы безлитникового и точечного литья, при которых эти недостатки сводятся к минимуму. При безлитниковом литье под давлением литниковые каналы обогреваются, поэтому отвердевший литник не образуется.

На рис. IV-23 представлена прессформа с клапанными впусками и обогреваемыми литниковыми каналами. Расплав поступает из сопла инжекционного цилиндра в отверстие 4 и по каналам 3 и 5 передается в гнезда 9. Впуск в гнезда 4 закрывается

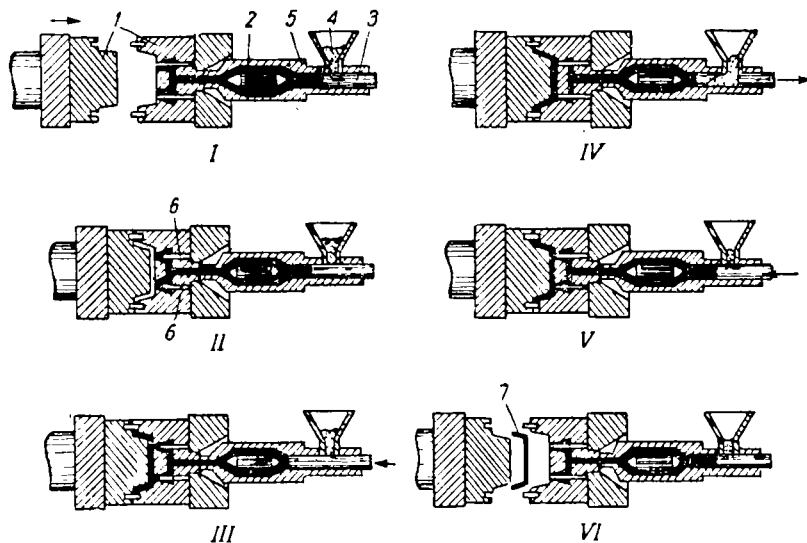


Рис. IV-24. Схема безлитникового литья:

I—VI—стадии литья; 1—прессформа; 2—расплав; 3—инжекционный поршень; 4—гранулированный материал; 5—инжекционный цилиндр; 6—игольчатые клапаны; 7—изделие.

игольчатыми клапанами 1, управляемыми посредством гидравлических цилиндров 8, дифференциальных плунжеров 7 и рычагов 6. На рисунке представлено положение, когда расплав поступает в правое гнездо при открытом игольчатом клапане, а впуск в левое гнездо перекрыт. Литниковые каналы обогреваются трубчатыми элементами 2, а гнезда охлаждаются водой, протекающей по каналам 10.

На рис. IV-24 изображена пооперационная схема работы литейной машины, дающей безлитниковые изделия. На стадии I прессформа раскрыта и расплав подготовлен к впрыску, который начинается в стадии II при закрытой прессформе. В положении III впрыск расплава закончен и инжекционный поршень находится в крайнем левом положении. На стадии IV впуски закрыты игольчатыми клапанами, а поршень находится в крайнем правом поло-

жении — происходит загрузка материала в инъекционный цилиндр. Отлитые изделия охлаждаются и отвердевают на стадиях IV и V. Раскрытие прессформы и выталкивание изделия происходит на стадии VI.

Точечное литье заключается в том, что впрыск расплава происходит через короткий узкий (диаметром 0,8—1 мм) «точечный» литниковый канал.

ПРОИЗВОДСТВО ИЗДЕЛИЙ

Процесс литья под давлением описан на стр. 105, факторы его разобраны на стр. 106 и сл. Отлитые охлажденные изделия извлекаются из прессформы при ее раскрытии и сбрасываются в тару. Литник снимается аппаратчиком и размалывается на ножевой

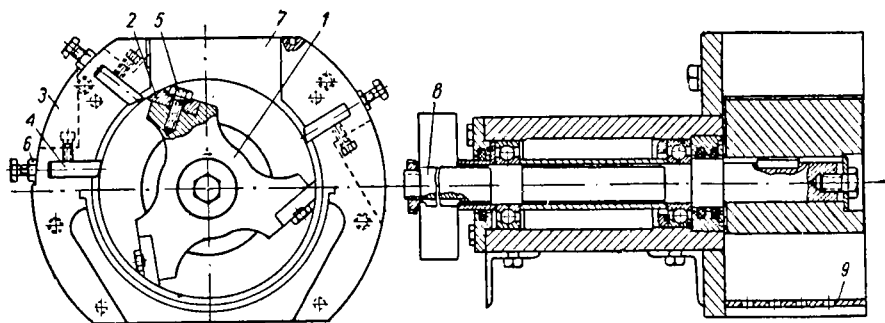


Рис. IV-25. Ножевая дробилка (гранулятор) для измельчения отходов термопластов на рабочем месте литейщика:

1—ротор; 2—ножи; 3—корпус; 4—неподвижные ножи; 5, 6—регулирующие болты; 7—загрузочное окно; 8—вал; 9—перфорированная решетка.

дробилке. Дробление литника может быть централизованным, но оно неудобно по ряду причин, например, потому, что вызывает загрязнение полимера, а при цветном литье — смешение различных цветов. Удобнее располагать дробилку у каждой литейной машины.

На рис. IV-25 изображена часто применяемая дробилка (гранулятор), состоящая из станины, корпуса 3 с неподвижными ножами 4, вращающегося ротора 1 с ножами 2, загрузочного окна 7, перфорированной решетки 9 и привода. Нередко дробилку снабжают магнитным сепаратором для улавливания металлических включений. Полимер разрезается вращающимися ножами и по мере измельчения просеивается через перфорированную решетку.

Техническая характеристика грануляторов, разработанных в УкрНИИПластмаш:

	Тип 1	Тип 2
Диаметр вращающегося ротора, мм	100	270
Мощность электродвигателя привода, кВт	1	20
Производительность, кг/ч . .	5—10	200
Число оборотов ротора в 1 мин	1500	1450
Количество ножей ротора . .	3	3
Габариты, мм	$495 \times 360 \times 800$	$1990 \times 1025 \times 2080$
Ширина камеры резания, мм	134	400
Масса аппарата, кг	70	1472

Удобна дробилка, конструктивно объединенная с устройствами для обрезки литников, шлифовки и полировки изделий. Для обрезки литников служит вращающаяся фреза. Шлифовка осуществляется шлифовальным камнем, а полировка — фетровым или хлопчатобумажным кругом. Для уменьшения шума дробилку покрывают слоем поливинилхлоридного пенопласта. Такой агрегат с диаметром ротора 200 мм измельчает 30 кг/ч полистирола и имеет габариты $99 \times 59 \times 120$ см.

Полученный гранулят добавляют к первичному сырью в количестве до 20%. Следует отметить, что для изготовления изделий, к которым предъявляются повышенные физико-механические требования, вторичный полимер не добавляется по причине некоторого изменения его свойств вследствие частичной деструкции и окисления во время литья.

Для снятия внутренних напряжений и выравнивания структуры отлитые детали подвергают термообработке, т. е. прогреву в течение некоторого времени при температуре немного ниже температуры стеклования. Термообработка проводится в среде воздуха, инертного газа, масла, парафина и т. д. В частности при термообработке полиамидных деталей узлов трения удобно масло, так как оно частично адсорбируется полиамидом и повышает его антифрикционные свойства. Детали, предназначенные для работы под нагрузкой в условиях переменной влажности, прогревают в парафине. Это способствует стабилизации размеров деталей и снижает водопоглощение гигроскопичных полимеров, например полиамидов.

Вследствие низкой температуры кипения вода неудобна для термообработки ряда полимеров, однако ее применяют иногда для нормализации размеров деталей после термообработки в других средах.

Можно применять термообработку инфракрасными лучами в среде инертного газа или в вакууме, так как при доступе воздуха нормального давления в условиях инфракрасного подогрева возможна поверхностная деструкция изделий.

БРАК ПРИ ЛИТЬЕ И ЕГО ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ

Основные виды брака при литье под давлением следующие.

1. Недолив (соответствует недопрессовке при компрессионном прессовании) выражается в *неполном оформлении* изделия. Основными его причинами являются расстройство дозировки (отчего в инъекционный цилиндр поступает недостаточно литевочного материала) и недостаток материала, поступающего в прессформу (из-за низкой температуры прессформы или расплава и, следовательно, пониженной текучести расплава, а также по причине засорения литниковых и разводящих каналов).

2. Перелив вызывает образование *грата* в месте смыкания прессформы. Он возникает при неправильной работе дозирующего устройства, перегреве расплава и прессформы, недостаточном усилии смыкания прессформы.

3. *Стыковые швы* — видна кривая линия спая отдельных потоков, механическая прочность резко снижена в месте спая. Основными причинами образования стыковых швов являются сниженная температура расплава или прессформы, неудачная конструкция прессформы, приводящая к охлаждению отдельных потоков расплава до момента их слияния (вследствие чего не происходит полного сваривания), а также недостаточное удельное давление расплава.

4. *Вздутия* на поверхности и пузыри (пустоты) в массе изделия наблюдаются при повышенном содержании летучих, которые вспучивают мягкую поверхностную пленку, и перегреве расплава, сопровождающемся частичной деструкцией и значительным газовыделением. Поверхностные вздутия образуются также при недостаточном охлаждении изделия.

5. *Усадочные раковины* — значительные углубления на поверхности изделий — возникают вследствие повышенной усадки при перегреве массы и недостаточного поступления расплава (снижено удельное давление расплава или мало сечение впускных каналов). Иногда поверхностные раковины появляются при неравномерном распределении температуры в прессформе, что определяет неравномерное остывание и неодинаковую усадку.

6. *Коробление* готовых изделий возникает вследствие значительных напряжений внутри изделия (обусловленных большой разностью температур в отдельных частях формы), а также при недостаточной выдержке изделия в прессформе (отчего оно извлекается недостаточно жестким).

7. *Трещины* образуются вследствие значительных остаточных напряжений в изделии, а также при его прилипании к стенкам прессформы.

8. *Риски, царапины, сколы* на поверхности изделий возникают при неисправном состоянии оформляющей поверхности прессформы и неаккуратном обращении с готовыми изделиями.

9. «*Мороз*» — узоры, напоминающие зимнюю разрисовку оконных стекол. Основной его причиной является попадание влаги в прессформу.

10. *Расслоение* наступает при повышенном содержании влаги в литьевом материале и при наличии отвердевших литников, не совмещающихся с основным материалом. Если расслоение выражено в виде очень мелких блесток, его называют серебристостью.

11. *Разнотонность* — неодинаковая поверхностная окраска изделия — объясняется недостаточно однородным бкрашиванием или разложением красителя вследствие его термической нестойкости или перегрева расплава.

12. *Размерный брак* — отклонение от номинальных размеров, превышающее установленный допуск, наблюдается при чрезмерной усадке или неудачной конструкции прессформы.

Таким образом, основными мерами предупреждения брака является исправное состояние оборудования, соблюдение технологического режима и стандартность сырья.

СПЕЦИФИКА ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Полиамиды. При инъекции полиамидов необходимо учитывать их гигроскопичность, кристалличность и способность окисляться при повышенных температурах. Влагосодержание полиамидов при хранении на воздухе составляет обычно 1,5—3,5%, но в условиях высокой влажности может достигать 11%. Инжекция влажных полиамидов связана с рядом отрицательных явлений: резко ухудшаются физико-механические свойства изделий, усиливается термическая деструкция, появляются поверхностные трещины. Вследствие этого полиамиды перед литьем необходимо подсушивать до остаточной влажности не выше 0,25—0,35%. Сушку можно осуществлять воздухом при температуре $\sim 70^\circ\text{C}$ в течение 30—70 ч, однако лучше применять инфракрасное облучение в течение 20—30 мин, так как длительная воздушная сушка может привести к термоокислительной деструкции. По тем же соображениям целесообразна сушка полиамидов под вакуумом. Длительность вакуум-сушки при остаточном давлении 30 мм рт. ст. и $80\text{—}100^\circ\text{C}$ составляет 4—6 ч. Сухой полиамид необходимо хранить в герметичной таре. Применяется также дополнительная подсушка в бункере литьевой машины.

Вследствие узкого температурного интервала пластичности полиамидов небольшой их недогрев приводит к высокой вязкости расплава, а перегрев — к чрезмерной текучести (вплоть до капельно-жидкого состояния) и разложению. Поэтому при литье

полнамидами необходима точная регулировка температуры и наличие запорных приспособлений. Если применяются смешанные полиамиды, то температурный интервал пластичности шире — до 30 град.

Значительное изменение вязкости даже при небольшом изменении температуры позволяет отливать полиамиды в сравнительно широком диапазоне давлений — от 150 до 800 кгс/см². При наличии узких впусков давление инъекции повышают до 1200 кгс/см² и выше.

Литье полиамидов проводят при температуре на 6—11 град выше температуры их плавления, что обуславливает их частичное окисление. Поэтому в некоторых случаях литье полиамидов осуществляют в атмосфере азота или углекислого газа. Во избежание перегрева объем инъекционного цилиндра рассчитывают на три или максимально на пять впрысков при отсутствии предварительной пластикации.

В случае недогрева возможно попадание нерасплавленных гранул в узкое кольцевое пространство между торпедой и цилиндром, в литниковые и разводящие каналы, а также закупоривание этих каналов. Применение предварительной пластикации при литье полиамидов исключает указанные трудности.

Полиамиды не оказывают коррозионного воздействия на сталь, поэтому инъекционные цилиндры могут быть изготовлены из углеродистой конструкционной стали.

Полиэтилен низкой плотности. Литье под давлением требует высокой текучести полимера, поэтому целесообразно применять полиэтилен с индексом расплава 2 г/10 мин и выше.

Высокая текучесть полиэтилена позволяет обходиться без смазки, однако полуформы должны быть точно пригнаны одна к другой во избежание значительного затекания между ними расплава и образования утолщенного грата.

В зависимости от температуры инъекционного цилиндра рекомендуется следующая температура его передней части:

Индекс расплава, г/10 мин	7	20	70
Температура, °С	190—200	170—190	155—170

При пониженной температуре возможно впрыскивание нерасплавленных частиц полиэтилена, а при более высокой — чрезмерная текучесть и утолщенный грат.

Примерный режим литья полиэтиленовой пластины массой 20 г на машине ЛМ-30 следующий:

Температура, °С:	
передней части цилиндра	250—270
расплава	170—190
прессформы	30—50
Удельное давление инъекции, кгс/см ²	800—1200

Время, сек:

закрытия формы	2
хода поршня вперед и выдержки под давлением	7—12
хода поршня назад	2
выдержки при охлаждении	Нет
открытия формы и паузы	10
общей продолжительности цикла	19—24

Поликарбонаты. Обладая высокой температурой размягчения и значительной вязкостью расплава, поликарбонаты отливаются при температуре инжекционного цилиндра 200—300°С и выше.

Поликарбонаты не оказывают коррозионного воздействия на сталь, поэтому для изготовления инжекционного цилиндра и прессформы можно применять обычные конструкционные углеродистые стали.

При литье на машинах с поршневым и червячным пластикатором можно применять следующие режимы:

	Поршневой пластикатор	Червячный пластикатор
Масса изделия *, г	61	170
Температура, °С:		
червяка	—	320
инжекционного цилиндра	—	280
задней части цилиндра	300	—
передней части цилиндра	320	—
мундштука	295	275
Время, сек:		
впрыска	8	10
охлаждения	10	10
выдержки	34	27
цикла	60	65

* В первом случае отливается бачок, во втором — ящик.

Полистирол эмульсионный можно отливать при 140—150°С, но в связи с его высокой термической стойкостью и стойкостью к окислению применяют обычно температуру литья 190—230°С при удельном давлении инъекции 800—1500 кгс/см².

Температура прессформы ~40°С.

Готовые изделия из полистирола склонны к растрескиванию. Для уменьшения внутренних напряжений, приводящих к растрескиванию, нельзя допускать, чтобы разность температур прессформы была >5—6 град; следует также проводить термообработку изделий, например, выдерживая изделия на воздухе или в ванне с водой в течение 1—3 ч при 65—80°С.

Поливинилхлорид. Литье непластифицированного поливинилхлорида осложняется жесткостью и низкой термостабильностью этого полимера. Необходимая для литья текучесть достигается

при $\sim 170\text{--}180^\circ\text{C}$, т. е. при температуре разложения поливинилхлорида. Для повышения стабильности к полимеру добавляют стабилизаторы, из которых особенно эффективны дибутилмалеат олова, свинцовые белила и стеарат свинца.

Низкая теплопроводность поливинилхлорида требует уменьшения толщины прогреваемого слоя пластика. Поэтому применяют специальные торпеды (рис. IV-26, а), состоящие из рассекателя 1 с расположенными по окружности каналами 2 и гильзы 3. Чтобы расплав проходил только по каналам, торпеда, вставленная в инжекционный цилиндр 4 (рис. IV-26, б), должна плотно прилегать

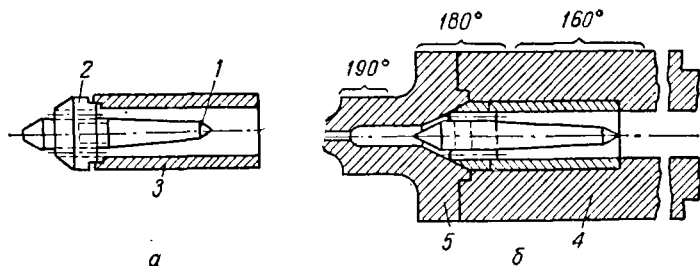


Рис. IV-26. Устройства для интенсификации процесса пла-
стикации поливинилхлорида:

а — торпеда для переработки поливинилхлорида; б — инжекционный цилиндр
с торпедой для литья непластифицированного поливинилхлорида;
1 — рассекатель; 2 — каналы; 3 — гильза; 4 — инжекционный цилиндр; 5 — го-
ловка сопла.

к головке сопла 5. При литье поливинилхлорида происходит его частичная деструкция с отщеплением хлористого водорода, поэтому инжекционный цилиндр, торпеду и сопло изготавливают из кислотоупорной хромоникелевой стали. Острые торпеды нагреваются до 180° , а тело торпеды — до 160°C . При пуске литьевой машины инжекционный цилиндр начинают загружать, когда его температура на 20° ниже поддерживаемой при установившемся режиме работы. Это приводит к получению недоброкачественных изделий в пусковом периоде, но зато предотвращается заметная деструкция поливинилхлорида. Постепенно в процессе работы температура повышается до рабочей. Продолжительность пребывания полимера в цилиндре точно контролируется. Вследствие низкой текучести материала требуется повышенное давление инъекции $\sim 2100\text{--}2500\text{ кгс/см}^2$ в поршневых литьевых машинах, а в червячных — порядка 1200 кгс/см^2 . Уменьшение давления в червячной машине объясняется тем, что устраняются потери давления на проталкивание недостаточно пластицированной массы между стенкой цилиндра и торпедой. Температуру прессформы поддерживают равной $70\text{--}80^\circ\text{C}$.

ОСНОВНЫЕ РАСЧЕТЫ ЛИТЬЕВЫХ МАШИН

Как и для большинства других машин химической промышленности, расчет литьевой машины складывается из технологического, теплового и механического.

Сущность технологического расчета заключается в составлении материального баланса, определении производительности машины и основных размеров ее рабочих частей — инжекционного цилиндра, предпластикатора и инжекционного поршня.

В тепловой расчет входит составление теплового баланса инжекционного цилиндра, предпластикатора и прессформы.

Механический расчет заключается в определении усилия смыкания и проверке прочности поршня и цилиндра.

Методика расчета литьевых машин разработана еще недостаточно и практически ряд величин приходится определять экспериментально.

При составлении материального баланса работы литьевых машин необходимо учесть допустимость добавки измельченного литника к первичному сырью — гранулам термопласта. Для большинства изделий вполне допустима добавка измельченного литника в количестве до 20% от массы первичного сырья.

Производительность литьевой машины $G_{\text{час}}$ (в кг/ч) определяют по уравнению:

$$G_{\text{час}} = \frac{3600nG_{\text{шт}}}{\tau}$$

где n — гнездность формы;

$G_{\text{шт}}$ — масса одного изделия (без литника), кг;

τ — длительность цикла отливки, сек.

В простейшем случае τ принимается по практическим данным. Однако длительность цикла отливки можно определить по формуле:

$$\tau = \tau_{\text{впр}} + \tau_{\text{охл}} + \tau_{\text{п. ф}}$$

где $\tau_{\text{впр}}$ — длительность операции впрыскивания, равная 2—4 сек;

$\tau_{\text{охл}}$ — время охлаждения до температуры t изделия в прессформе, сек;

$\tau_{\text{п. ф}}$ — время паузы прессформы, сек.

Величина $\tau_{\text{охл}}$ определяется по формулам:
для охлаждения центра детали

$$\tau_{\text{охл}} = 30,4 \cdot 10^5 \frac{H^2}{a} \lg \left(0,785 \frac{t - t_{\text{ф}}}{t_0 - t_{\text{ф}}} \right)$$

для охлаждения центра литника

$$\tau_{\text{охл}} = 57,1 \cdot 10^5 \frac{R^2}{a} \lg \left(0,62 \frac{t - t_{\text{ф}}}{t_0 - t_{\text{ф}}} \right)$$

где H — толщина отливаемого изделия, m ;

R — радиус литника, в m ;

a — коэффициент температуропроводности, в $m^2/сек$;

t_0 — температура впрыскиваемого термопласта, $^{\circ}C$;

t_{ϕ} — температура прессформы, $^{\circ}C$.

Толщина литника обычно составляет 0,7—0,8 толщины изделия. Пауза служит для согласования цикла работы прессформы и цилиндра. Если работу машины лимитирует время охлаждения отливки, пауза прессформы равна нулю, а длительность цикла инжекционного цилиндра $\tau_{ц}$ (в $сек$), определяемая по формуле

$$\tau_{ц} = \tau_{впр} + \tau_{обр} + \tau_{п.ц}$$

(где $\tau_{обр}$ — длительность обратного хода плунжера; $\tau_{п.ц}$ — пауза инжекционного цилиндра), включает в себя некоторую действительную паузу. Если же работу машины лимитирует время нагрева материала в цилиндре, то больше нуля становится пауза прессформы.

Длительный нагрев пластика приводит к заметной деструкции, поэтому важно знать время пребывания пластика в цилиндре:

$$\tau_{пр} = \tau_{ц.л} m$$

где $\tau_{ц.л}$ — длительность цикла литья, равная 20—30 $сек$ для обычных и 3—5 $сек$ для быстроходных литьевых машин;

m — количество доз пластика, находящегося в инжекционном цилиндре, равное для машин без предпластикации 3—5 и для машин с предпластикацией 2—3.

Поверхность теплообмена инжекционного цилиндра должна обеспечить нагревание материала до температуры впрыска, для этого необходимо передать количество тепла Q (в $ккал$), определяемое по формуле

$$Q = Gc(t_k - t_n)$$

где G — масса одной отливки, $кг$;

c — теплоемкость полимера, $ккал/(кг \cdot град)$;

t_k и t_n — конечная и начальная температуры массы в цилиндре, $^{\circ}C$.

Поверхность теплообмена цилиндра F (в m^2) может быть определена по уравнению:

$$F = \frac{Q}{k \Delta t \tau_n}$$

где k — коэффициент теплопередачи от нагревателя к полимеру, $ккал/(m^2 \cdot ч \cdot град)$;

Δt — разность температур нагревателя и полимера, $град$;

τ_n — длительность нагревания, равная длительности пребывания одной дозы отливки в цилиндре, $ч$.

Рассчитать коэффициент теплопередачи в данном случае трудно, поэтому следует пользоваться экспериментальными данными. Нередко проверяют значение k , если известны F , Q и Δt .

Усилие смыкания прессформы P_{Φ} (в кгс) равно:

$$P_{\Phi} = p_{\Phi} S$$

где P_{Φ} — удельное давление расплава в прессформе, кгс/см²;

S — площадь проекции изделия, см².

Однако обычно известно удельное давление расплава в инжекционном цилиндре, а удельное давление в прессформе значительно меньше вследствие гидравлических потерь, доходящих до 50%. Поэтому можно приближенно определить усилие смыкания прессформы по уравнению:

$$P_{\Phi} = A p_{\text{ц}} S$$

где A — коэффициент, принимаемый по экспериментальным данным равным 0,3—0,5;

$p_{\text{ц}}$ — удельное давление расплава в цилиндре, кгс/см².

Для определения диаметра поршня d (в м) инжекционного цилиндра можно исходить из величины единовременного впрыска $G_{\text{впр}}$ (в кг):

$$\frac{\pi d^2}{4} v \rho \tau_{\text{впр}} = G_{\text{впр}}$$

где v — скорость поршня, равная 0,05—0,1 м/сек;

ρ — плотность расплава, кг/м³;

$\tau_{\text{впр}}$ — время впрыска, составляющее 2—4 сек.

Отсюда:

$$d = \sqrt{\frac{4 G_{\text{впр}}}{\pi v \rho \tau_{\text{впр}}}}$$

Усилие $P_{\text{п}}$ (в кгс), действующее на поршень, рассчитывается по формуле:

$$P_{\text{п}} = \frac{\pi d^2}{4} p_0 \cdot 10^{-4}$$

где p_0 — удельное давление расплава, кгс/см².

ПЕРЕРАБОТКА ТЕРМОРЕАКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ ЛИТЬЕМ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Применительно к термореактивным материалам способ литья под давлением осложняется возможностью преждевременного отверждения расплавов до попадания в гнездо, т. е. на участке сопла и в литниковых каналах, а также в материальном цилиндре, поэтому применяют его в сравнительно узких пределах на спе-

циальных литьевых машинах или с применением специальных литьевых материалов.

Основные особенности литьевых машин для переработки термореактивных материалов следующие:

1) исключены торпеды, что уменьшает сопротивление потоку расплава и возможность перегрева материала;

2) сопло оборудовано приспособлением для точно регулируемого нагрева и охлаждения;

3) плунжер и бункер машины необходимо охлаждать;

4) применяется повышенное удельное давление инъекции;

5) диаметр сопла увеличен.

По температурному режиму литья машины разделяют на два типа. Первый из них характеризуется тем, что в материальном цилиндре полимер прогревается лишь настолько, чтобы он приобрел пластичность, необходимую для литья, но не мог бы перейти в отвержденное состояние. Поэтому в цилиндре и сопле поддерживается сравнительно низкая температура, например, для фенольно-формальдегидных пресспорошков $\sim 110^{\circ}\text{C}$. Полимер отверждается только в обогреваемой прессформе, следовательно, ее температура значительно выше температуры цилиндра. Например, для фенопластов температура прессформы достигает $190\text{--}225^{\circ}\text{C}$.

Второй тип литьевых машин характеризуется тем, что поддерживается высокая температура сопла. В этом случае применяют удлиненные сопла, снабженные системами обогрева и охлаждения с тщательной регулировкой. На таких машинах перерабатывают специальные виды пресспорошков с повышенным содержанием смазки.

Машины первого типа менее производительны, но имеют перед машинами с повышенной температурой сопла следующие преимущества: 1) возможно применение обычных пресспорошков; 2) устройство сопла упрощенное; 3) управление процессом более простое; 4) шире ассортимент получаемых изделий по их размерам.

Встречаются также другие варианты оформления процесса литья под давлением, например с применением высокочастотного обогрева (одним электродом является материальный цилиндр, другим — сердечник плунжера, облицованный диэлектриком).

Для массового производства мелких деталей и деталей сложной конфигурации применяют ротационные машины с предварительным высокочастотным подогревом (рис. IV-27). Предварительный подогрев производится в гнездах 5 барабана 3, когда гнездо задерживается между электродами высокочастотного подогрева 4. В это же время происходит выдержка отлитого изделия под давлением между электродами 4. При движении влево подвижной плиты 10 происходит смыкание матрицы 8 и пуансона 7, закрепленного на неподвижной плите 6. Когда гнезда вращающегося

барабана 3 устанавливаются против гильзы 1, нагретый материал проталкивается под давлением 700—1500 кгс/см² в гнездо прессформы, которая подогревается посредством электроспиралей

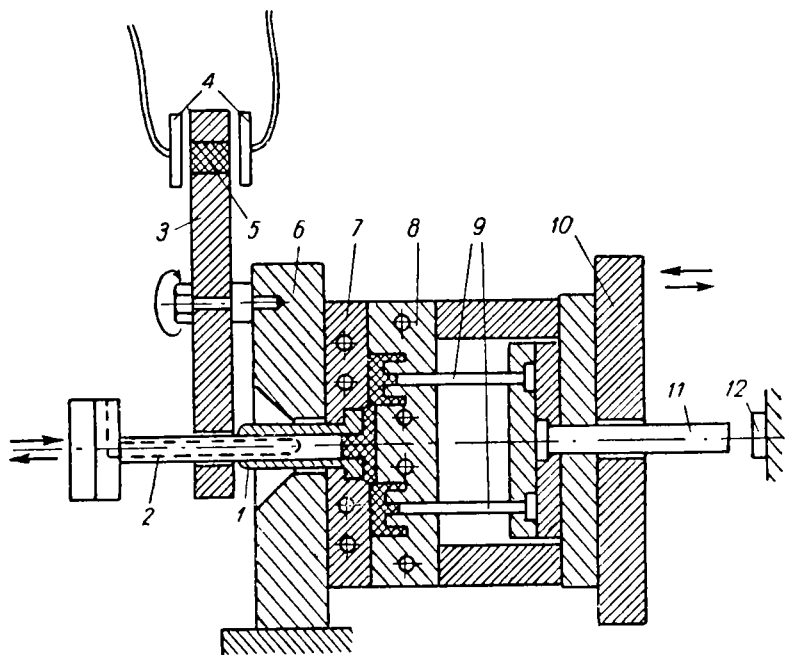


Рис. IV-27. Литевая машина для термореактивных материалов:

1—гильза; 2—инжекционный плунжер; 3—барабан; 4—электроды высокочастотного подогрева; 5—гнездо; 6—неподвижная плита; 7—пуансон; 8—матрица; 9—шпильки; 10—подвижная плита; 11—шток; 12—упор.

до 150—160°С. После отверждения изделия плита 10 отходит вправо, шток 11 достигает упора 12 и происходит сталкивание изделия шпильками 9.

ЦЕНТРОБЕЖНОЕ И АВТОКЛАВНОЕ ЛИТЬЕ

Центробежное литье — сравнительно простой и недорогой способ изготовления изделий круглого профиля, например втулок, шкивов, зубчаток. Особенно эффективен этот метод для изготовления толстостенных изделий, получение которых методом обычного литья под давлением требует применения мощных машин и осложняется возможностью образования пузырей и утяжин.

Сущность центробежного литья заключается в том, что расплавленный полимер заливается в форму, подвергаемую после

этого вращению. Под действием центробежной силы расплав располагается на внутренней поверхности формы плотным слоем, принимая требуемую конфигурацию. При дальнейшем вращении происходит охлаждение формы и затвердевание изделия, которое затем извлекают из остановленной формы.

Установки для центробежного литья могут иметь различную конструкцию. В основном их разделяют на установки с горизонтальной или вертикальной осью вращения. Схемы с вертикальной осью вращения применяют для получения сравнительно коротких втулок и других изделий, у которых размер по оси не больше диаметра. Схемы с горизонтальной осью вращения служат для получения более длинных по оси отливок, например труб, длинных втулок и гильз.

Предварительное расплавление полимера часто проводят в автоклаве, из которого расплав передают в форму. Однако расплавление полимера можно проводить в самой форме, как это имеет место, например, при получении капроновых втулок.

Автоклавный метод литья под давлением, применяемый в основном для получения крупногабаритных изделий из полиамидов и переработки термопластичных отходов, заключается в следующем. Высушенный до остаточной влажности 0,2% полиамид загружают в автоклав, обогреваемый через рубашку, высококипящим теплоносителем. Полиамид нагревают на 20—30 град выше температуры его плавления. Нагретый расплав выдавливают азотом, содержащим $\leq 0,5$ —1% кислорода, в прессформу. В зависимости от толщины и конфигурации изделий принимают определенную скорость литья. Например, втулки диаметром и длиной по 200 мм и толщиной стенки 6—7 мм (масса более 1 кг) отливают в течение 1,0—1,2 мин, а отливка дисков диаметром 300 мм и массой 600 г продолжается 35—45 сек. Температуру прессформы поддерживают равной 60—80°С.

Основными видами брака при автоклавном литье являются вздутия на изделиях, расслоение и растрескивание, которые наблюдаются при перегреве расплава, значительном содержании мономера и влаги, а также при длительной выдержке расплава в автоклаве.

Автоклавный метод переработки отходов заключается в том, что отходы полиамидов или других полимеров очищают от механических примесей и кипятят 1,5 ч в воде с добавкой соды или других моющих средств. Затем промывают чистой водой и высушивают при 80—90°С до остаточной влажности $\leq 0,5\%$. Высушенный полимер загружают в автоклав и подогревают до требуемой температуры. Расплав выдавливают азотом (для окисляющихся полимеров) в подогретую до 60—80°С форму.

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ИЗДЕЛИЙ МЕТОДОМ ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Производственный травматизм Характер травматизма при работе на литьевых машинах в значительной степени напоминает характер несчастных случаев при работе на гидравлических прессах. Основные требования по технике безопасности, а также соответствующие им приспособления в оборудовании литьевых машин направлены на устранение возможностей захвата движущимися частями машины, ожогов, поражения электротоком.

В современных литьевых машинах часто применяются защитные устройства, состоящие из щитков, заблокированных с электродвигателями насосов, которые могут быть включены только при опущенных щитках. В инструкциях по технике безопасности для работающих на литьевых машинах обычно указывается на недопустимость работы при неисправной блокировке.

В связи с высокой степенью автоматизации современных литьевых машин проверяется исправность не только основных частей машины, но также рабочее состояние контрольно-измерительных и регулирующих приборов.

Цех литья под давлением обычно оборудован сушилками для подсушки гранул и грануляторами для измельчения отходов термопластов. Правила обслуживания этих аппаратов в отношении техники безопасности почти не отличаются от соответствующих требований по технике безопасности при обслуживании других типов сушилок и дробилок.

Перед допуском на рабочее место обязателен специальный инструктаж.

Мероприятия по охране труда Содержание вредных газообразных веществ и пыли в воздухе производственных помещений не должно превышать следующие концентрации (в мг/м³):

Ацетон	200
Бензол	20
Капролактан	10
Нитрил акриловой кислоты	0,5
Этиловый спирт	1000
Стирол	5
Уксусная кислота	5
Пыль пресспорошков фенопластов и аминопластов	6

Температура воздуха в отделении литьевых машин должна быть равна 16°С, в отделении обработки изделий 18°С.

Подвижность воздуха во всех отделениях в теплый период должна быть ≤0,5 м/сек и в холодный период ≤0,3 м/сек.

Для того чтобы обеспечить нормальные условия труда при производстве изделий литьем под давлением, должен быть выполнен комплекс мероприятий, предусматриваемых специальными нормами Государственного Комитета Совета Министров СССР по делам Строительства — СН 179—61, изложенными в «Указаниях по проектированию отопления и вентиляции цехов производства изделий литьем под давлением заводов пластических масс». Некоторые мероприятия, предусмотренные в названных нормах, приводятся ниже:

1. Рекомендуется специализировать группы литьевых машин или целиком все литьевое отделение на переработке одного вида материала.

2. Основные и вспомогательные производственные процессы должны быть всемерно механизированы и автоматизированы.

3. Нагретые поверхности производственного оборудования должны быть изолированы.

4. Для защиты работающих от действия вредных газов и пыли и уменьшения степени загрязнения воздуха помещения этими выделениями ряд производственных агрегатов и рабочих мест (литьевые машины, сверлильные, шлифовальные, полировальные станки и др.) должен быть оборудован местной вытяжной вентиляцией.

5. Кроме местных вытяжных вентиляционных систем в цехе должна быть общеобменная вентиляция, состоящая из вытяжной и приточной систем.

6. Приточные системы обеспечивают не только правильный обмен воздуха, но и отопление помещения в холодное время года, в теплый период приток наружного воздуха обеспечивается через открытые фрамуги окон.

7. В отделении обработки отопление помещения осуществляется не только приточной вентиляцией, но и местными нагревательными приборами.

8. Для того чтобы работа технологического оборудования была невозможна без действия вентиляции, электродвигатели технологического оборудования должны быть заблокированы с электродвигателями вентиляционных установок.

9. Комплекс мероприятий по противопожарной профилактике должен отвечать требованиям, предъявляемым к цехам, которые по пожарной опасности относят к категории В.

ВЫДАВЛИВАНИЕ (ЭКСТРУЗИЯ)

Процесс производства разнообразных изделий из полимеров (пленки, трубы, листы и т. д.) выдавливанием имеет ряд других названий — экструзия, шприцевание, шнекование. В соответствии с этим машины, используемые для проведения такого процесса,

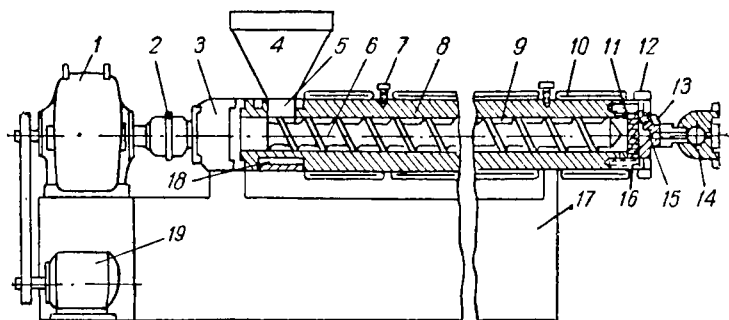


Рис. V-1. Червячный пресс:

1—редуктор; 2—эластичная муфта; 3—упорный подшипник; 4—бункер; 5—загрузочная воронка; 6—червяк; 7—термопара; 8—обогреваемый корпус; 9—закаливающая гильза; 10—ленточный нагреватель; 11—сетки; 12—нагреватель присоединительного фланца; 13—незащищенная термопара; 14—головка; 15—присоединительный фланец; 16—решетка; 17—стойка; 18—охлаждающая рубашка загрузочной зоны; 19—электродвигатель привода.

тоже имеют различные названия — червячные прессы, экструзионные машины (экструдеры), шприц-машины, шнек-машины, — в дальнейшем мы будем называть их червячными прессами (рис. V-1).

Твердый полимер загружается в бункер 4 червячного пресса и через воронку 5 сыпается в канал червяка (винта) 6. По мере продвижения частиц полимера в сторону головки 14 они плавятся за счет трения и внешних нагревателей 10; расплавленный полимер продавливается через пакет сеток 11 и нагнетается в головку, откуда выходит сформованный расплав, охлаждаемый затем в специальных устройствах.

Червяк продвигает перерабатываемый материал вдоль обогреваемого корпуса (цилиндра) 8.

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОЦЕССА

Червячные прессы (машины) могут быть одно- и многочервячными. Эти два типа машин отличаются один от другого не только по конструкции, но и по физическим явлениям, происходящим в них. В многочервячных прессах движение материала между червяками происходит целыми объемами, при этом он не подвергается существенной деформации сдвига. Иная картина наблюдается в одночервячном прессе: вначале, пока полимер еще не расплавился, его перемещение происходит тоже целыми объемами, но затем течение расплава в начале червяка совершается с деформацией сдвига.

В одночервячном прессе механическая работа, вызывающая деформацию сдвига в расплаве, превращается в тепло, нагревающее полимер. В двухчервячном прессе основным источником тепла являются внешние нагреватели; в этом случае, чтобы перемешать расплав, на червяках делают специальные секции со смесительными элементами.

Для производства подавляющего большинства изделий из пластмасс применяют одночервячные прессы, работа которых будет подробно рассмотрена ниже. Двухчервячные прессы сложнее; используют их главным образом для получения гранул, а также в производстве труб из твердого поливинилхлорида (порошкообразная композиция).

В соответствии с количеством нарезов червяк (винт) может быть одно- и многозаходным. В основном используют однозаходные червяки, так как в этом случае получается более однородный расплав полимера.

Червяк характеризуется следующими основными размерами (рис. V-2*): 1) диаметром D ; 2) длиной нарезанной части L ; 3) шагом резьбы b или углом подъема винтовой нарезки φ ;

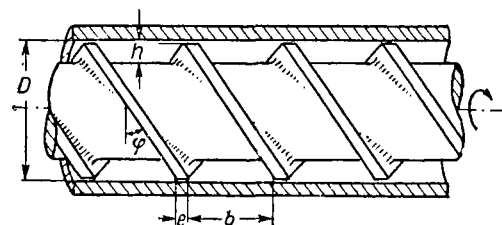


Рис. V-2. Основные размеры червяка.

4) глубиной канала h ; 5) шириной гребня нарезки e . Длину червяка выражают числом его диаметров; большинство машин имеет

* Показан двухзаходный червяк.

червяки длиной 20, 24 и 30 D. Глубину канала обычно делают переменной; соответственно меняется его поперечное сечение.

Если нарезку червяка распрямить, то при прямоугольном ее профиле получится открытый желоб прямоугольного сечения. В том случае, когда червяк установлен в цилиндре и канал закрыт стенками цилиндра, при распрямлении нарезки получается труба прямоугольного сечения. Следовательно, канал червяка можно представить как трубу прямоугольного сечения, согнутую по спирали. При вращении червяка такая труба образуется неподвижной стенкой цилиндра и движущимися стенками червяка. В канал поступают твердые частицы полимера, которые начинают двигаться под воздействием винтовой нарезки. За время перемещения до выхода из канала полимер должен нагреться и перейти в состояние расплава, находящегося под давлением. Таким образом, основной задачей червячного пресса является нагрев полимера и создание давления.

Для получения высококачественных изделий нужен совершенно однородный расплав с одинаковыми температурой и вязкостью по всему сечению потока на выходе его из канала червяка; расплав не должен иметь видимую невооруженным глазом структуру. Выполнение всех этих требований возможно с помощью червяков определенной конструкции. Для переработки разных полимеров нужны червяки с разными характеристиками.

Движению твердых частиц полимера по каналу червяка оказывают сопротивление силы внешнего трения, возникающие при взаимодействии полимера с поверхностями червяка и цилиндра.

При движении расплавленного полимера в канале червяка слои потока, непосредственно прилегающие к стенкам цилиндра, неподвижны, а параллельные им слои потока, расположенные на некотором расстоянии от стенок, перемещаются один относительно другого с разной скоростью. В результате этого возникают силы внутреннего трения, препятствующие движению расплава.

Таким образом, вначале, при движении твердых частиц полимера, преодолеваются силы внешнего трения, а затем при переходе полимера в расплавленное состояние, — силы внутреннего трения. При открытом конце канала величина внешней силы, вызывающей движение полимера, зависит от суммы величин внешнего и внутреннего трений. Если поток расплава при выходе его из канала червяка встречает сопротивление — решетку, сетки, головку или какое-нибудь сочетание названных элементов, — величина внешней силы, способной вызвать движение полимера, зависит от суммы величин внешнего и внутреннего трений, а также величины сопротивления потоку.

Полимер, находящийся в канале червяка, под действием внешней силы оказывает давление на все соприкасающиеся с ним

стенки. Это давление прямо пропорционально приложенной силе и обратно пропорционально площади, к которой оно приложено.

Движение в канале червяка происходит равномерно в соответствии со вторым законом Ньютона. Это свидетельствует о том, что сила, развиваемая винтом, уравнивается силами трения.

Процессы, происходящие в канале червяка, можно представить следующим образом.

Твердые частицы полимера под действием, которое оказывает на них ведущая стенка нарезки, перемещаются на некоторое расстояние, сохраняя свою форму на данном участке. При этом в частицах не происходит деформации сдвига, и они перемещаются как упругая пробка. Под действием тепла, передаваемого полимеру стенками цилиндра, а также возникающего вследствие трения частиц о стенки, полимер начинает плавиться. Процесс плавления совершается постепенно и реализуется на определенной длине канала. Расплавленный полимер течет по каналу к концу червяка.

Участок червяка (рис. V-3), на котором перемещаются нерасплавленные частицы полимера, принято называть зоной загрузки

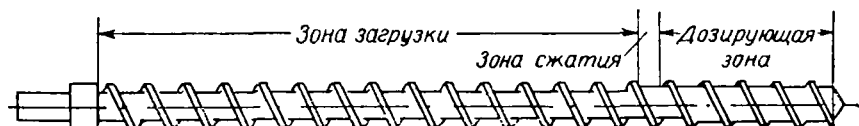


Рис. V-3. Зоны червяка.

(питания); участок, на котором полимер плавится, — зоной пластикации (сжатия); участок, на котором течет поток расплава — дозирующей зоной (нагнетания, гомогенизации, выдавливания). Границы между зонами условны, они могут изменяться и, в первую очередь, в зависимости от величины сопротивления потоку расплава, вытекающего из канала червяка. Считалось, что длина каждой из названных зон равна одной третьей части всей длины червяка. В последние годы начали применять червяки с длинной дозирующей зоной, равной половине всей длины червяка. В ряде случаев зона сжатия имеет длину одного витка червяка.

Поступательное движение твердого полимера в зоне загрузки тормозится трением полимера о стенки канала и цилиндра. Это трение преодолевается усилием, которое прикладывается передней стенкой нарезки вращающегося червяка. Усилие, приложенное к полимеру, создает давление на стенках машины. Величина давления в зоне загрузки зависит от природы полимера и формы его частиц (табл. V-1).

Таблица V-1

Давление в зоне загрузки

Материал	Форма частиц материала	Давление, кгс/см ²
Полиэтилен высокой плотности	Чечевицеобразные гранулы	126
» » »	Кубические гранулы	168
Поливинилхлорид твердый	» » »	165
» » »	Порошкообразная композиция	92
Полстирол	Бисер	126
» ударопрочный	Гранулы	165
Поливинилхлорид мягкий	» » »	91

Во избежание прилипания полимера к стенкам канала и цилиндра в зоне загрузки, препятствующего перемещению материала, эту зону необходимо охлаждать.

Для того чтобы канал в дозирующей зоне был заполнен расплавом, объем канала в зоне загрузки должен быть больше, чем объем канала в дозирующей зоне. Это требование продиктовано разницей между насыпным весом (насыпной плотностью) твердого полимера и удельным весом (истинной плотностью) расплава полимера (последняя величина всегда выше). Изменение объема канала при постоянном шаге нарезки производят уменьшением глубины канала. Отношение объема канала на длине одного витка червяка в зоне загрузки к объему канала в конце дозирующей зоны носит название коэффициента сжатия, который может быть также определен по уравнению:

$$k = 1,5 \frac{\gamma_p}{\gamma_t}$$

где γ_p — удельный вес (истинная плотность) расплава полимера;

γ_t — насыпной вес (насыпная плотность) твердого полимера.

Значения коэффициента сжатия при переработке некоторых полимеров даны в табл. V-2.

Таблица V-2

Коэффициенты сжатия

Материал	Форма частиц материала	k
Полиэтилен	Гранулы	3—4,7
Поливинилхлорид мягкий	»	2,7—3,7
» »	Порошкообразная композиция	3,3—4
Поливинилхлорид твердый	Гранулы	2,7—3

Изменение глубины канала червяка может быть выполнено постепенно — на длине нескольких витков нарезки — или резко — на длине одного витка. Зона сжатия — это участок с переменной глубиной канала. Для кристаллических полимеров рекомендуются червяки с короткой зоной сжатия.

Наблюдения показали, что в зоне сжатия вдоль стенки цилиндра находится тонкий слой расплава, доходящий до витков зоны загрузки, еще не заполненных гранулами. Расплав образуется также у ведущей стенки нарезки червяка, в остальной части зоны сжатия расположены твердые частицы, которые постепенно плавятся. В расплаве наблюдается циркуляционное течение, увеличивающееся по мере плавления полимера.

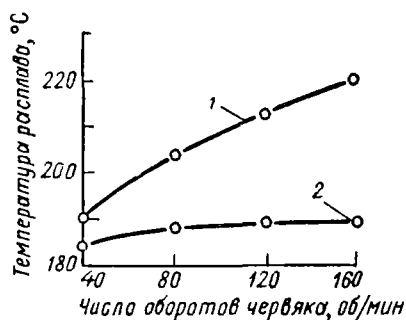


Рис. V-4. Зависимость температуры расплава от числа оборотов червяка при различной глубине канала в дозирующей зоне ($L = 13D$; клапан открыт):

1 — $h = 2,38$ мм; 2 — $h = 2,8$ мм.

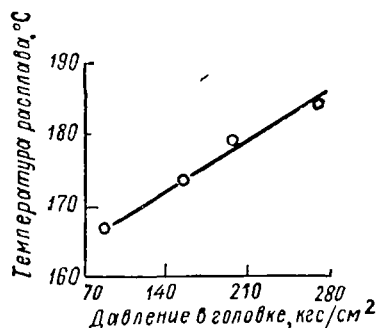


Рис. V-5. Зависимость температуры расплава от давления в головке ($L = 18,6D$; $n = 80$ об/мин).

Нагрев полимера и давление при постоянных L и D зависят от конструкции червяка, числа его оборотов и сопротивления потоку.

При увеличении числа оборотов червяка давление повышается.

Зависимость температуры расплава от числа оборотов червяка при различной глубине канала в дозирующей зоне представлена на рис. V-4, из которого можно сделать вывод, что с увеличением числа оборотов температура расплава возрастает (особенно резко — на червяках с менее глубоким каналом).

С увеличением сопротивления потоку, которое характеризуется величиной давления в головке, температура расплава увеличивается (рис. V-5).

При охлаждении червяка эффективная глубина канала* уменьшается вследствие того, что в слоях полимера, прилегающих

* Глубина, на которой расплав перемещается.

к поверхности червяка, резко увеличивается вязкость и они перестают течь. К охлаждению червяка прибегают очень часто, так как оно способствует улучшению однородности полимера.

При увеличении длины червяка увеличивается нагрев полимера, давление при этом зависит от сопротивления головки: в случае низкого сопротивления головки давление растет с увеличением длины червяка; в случае высокого сопротивления головки увеличение длины червяка мало сказывается на изменении давления. Качество расплава определяется не только абсолютными значениями температуры и давления, но и однородностью структуры расплава, а также отсутствием разницы в температуре и давлении в разных точках расплава. Однородность расплава в большой степени зависит от длины дозирующей зоны — это четко выражено

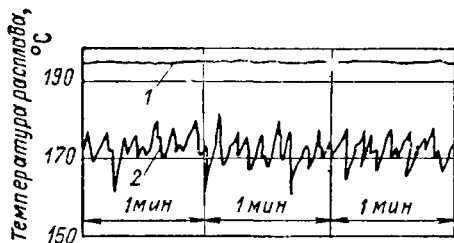


Рис. V-6. Колебания температуры расплава при работе с длинной (кривая 1) и короткой (кривая 2) дозирующими зонами ($h = 2,38$ мм; $n = 120$ об/мин; клапан открыт).

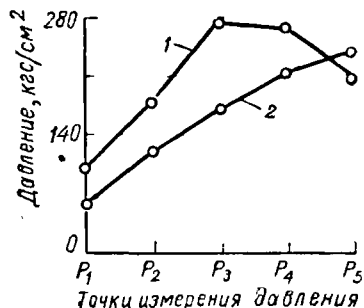


Рис. V-7. Изменение давления по длине червяка с короткой (кривая 1) и длинной (кривая 2) дозирующими зонами ($n = 80$ об/мин).

на рис. V-6, из которого следует, что только на червяках с длинной дозирующей зоной расплав имеет постоянную температуру.

О влиянии конструкции червяка на свойства расплава полимера можно судить по кривым изменения давления по длине червяка. Результаты измерений давления в пяти точках червяков с короткой и длинной дозирующими зонами представлены на рис. V-7. Точка P_1 расположена в зоне сжатия, точка P_5 соответствует положению в конце червяка. Кривые на рис. V-7 свидетельствуют о том, что в червяке с длинной дозирующей зоной давление по длине червяка равномерно увеличивается к концу — это создает условия для получения стабильного потока расплава, а в червяке с короткой дозирующей зоной кривая давления имеет пики — это приводит к получению неоднородного расплава.

На червяках с длинной дозирующей зоной полимеры нагреваются до более высоких температур, чем на червяках с короткой

дозировочной зоной, поэтому первые из них получили широкое распространение.

Сравнительно плавный подъем давления по длине червяка происходит и на червяках другой конструкции — двухстадийных. Они имеют следующие зоны: загрузочную, первую сжатия, первую дозирующую, дегазации, вторую сжатия и вторую дозирующую.

Работа червячного пресса характеризуется не только качеством расплава, но и стабильностью количества расплава, выдавливаемого в единицу времени, т. е. отсутствием пульсации. Пульсация

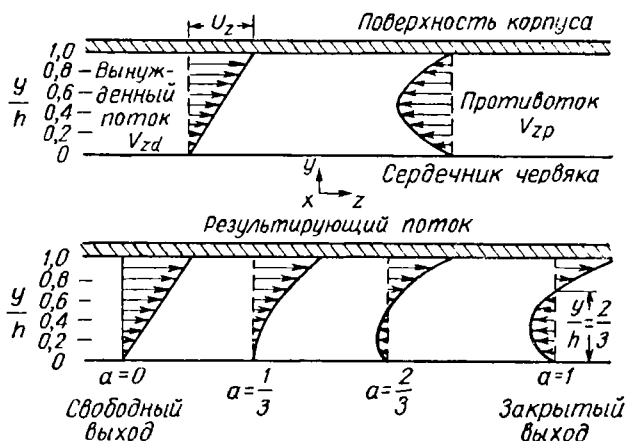


Рис. V-8. Профили скоростей потока, направленного по оси канала.

может быть следствием: 1) неравномерного поступления материала в зону загрузки; 2) недостаточного нагрева материала (он не успевает расплавиться до дозирующей зоны) и 3) прилипания материала к червяку. В первом случае пульсация может быть уменьшена путем установки питателей-дозаторов, во втором — предварительным подогревом материала, загружаемого в машину, в третьем — охлаждением червяка. Во всех случаях пульсация может быть уменьшена путем увеличения общей длины червяка, глубины канала и сопротивления головки.

Под действием направленной вдоль канала силы возникает поступательное движение материала. Форма этого потока соответствует форме потока между двумя пластинами, из которых одна неподвижна, а другая движется. Такой поток называют прямым (выпущенным).

Если на выходе потока из канала имеется сопротивление, то возникает мнимый «обратный поток» в сторону загрузочной зоны (его физически нет, но прямой поток при этом тормозится и

профиль его искажается). Величина прямого потока находится в зависимости от «обратного потока» (рис. V-8). Профиль результирующего потока представляет собой лишь проекцию скоростей потока в разных плоскостях канала.

Одновременно с движением расплава вдоль канала имеет место циркуляционное течение расплава в поперечном направлении.

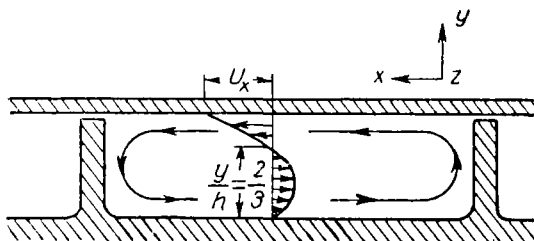


Рис. V-9. Профиль скоростей циркуляционного течения.

Профиль скоростей этого течения изображен на рис. V-9. Циркуляционный поток не влияет на производительность червячного пресса, но оказывает большое влияние на однородность расплава.

Кроме перемещения расплава в канале червяка, при наличии сопротивления потоку на выходе

из канала небольшая часть расплава течет в зазоре, образуемом между наружным диаметром червяка и цилиндром, в сторону загрузочной зоны. При маленьком зазоре между червяком и цилиндром величина возвратного потока незначительна и при расчете производительности червячного пресса ее можно не учитывать.

Производительность червячного пресса зависит от производительностей всех зон червяка.

При небольшой глубине канала (сравнительно с диаметром червяка) объемная производительность Q (в $см^3/мин$) зоны загрузки определяется по уравнению:

$$Q = \pi^2 D^2 h n \cos \varphi \sin \varphi (1 - \operatorname{tg} \varphi \operatorname{ctg} \omega)$$

где D — диаметр червяка, $см$;

h — глубина канала, $см$;

n — число оборотов червяка, $об/мин$;

φ — угол подъема винтовой нарезки, градусы;

ω — угол движения материала, градусы.

Величина угла ω зависит от коэффициентов трения материала о поверхности червяка и цилиндра. Если угол ω считать постоянным, то его величину можно найти по формуле:

$$\operatorname{ctg} \omega = \frac{\cos^2 \varphi - 0,5}{\sin^2 \varphi}$$

Расчет производительности зоны сжатия пока не разработан.

Расчет производительности дозирующей зоны базируется на закономерностях гидродинамики. Для упрощения расчетов темпе-

ратуру и эффективную вязкость расплава в дозирующей зоне принимают постоянными, канал червяка рассматривают как трубу прямоугольного сечения. Расчет производительности может быть произведен только для установившегося технологического режима, для которого известны эффективная вязкость расплава и разность давлений в начале и в конце зоны. В указанных условиях движение расплава полнимера происходит с постоянной скоростью, так как внешние силы уравниваются силами внутреннего трения.

Приближенно объемная производительность Q (в $\text{см}^3/\text{мин}$) червяка с длиной дозирующей зоны и постоянными шагом и глубиной канала определяется в этой зоне разностью между прямым и «обратным» потоками и выражается уравнением:

$$Q = \alpha l - \frac{\beta}{\eta} \cdot \frac{\Delta p}{l}$$

где α , β — коэффициенты для червяка в прямом и «обратном» потоке соответственно, см^3 ;

Δp — разность давлений расплава в начале и конце дозирующей зоны, $\text{кгс}/\text{см}^2$;

η — эффективная вязкость расплава, $\text{кгс} \cdot \text{сек}/\text{см}^2$;

l — длина дозирующей зоны червяка, см .

Величины α и β рассчитываются по формулам:

$$\alpha = \frac{\pi^2 D^2 h \sin \varphi \cos \varphi}{2}$$

$$\beta = \frac{\pi D h^3 \sin^2 \varphi}{12}$$

По своему геометрическому значению коэффициент α , характеризующий профиль червяка, соответствует половине объема канала в дозирующей зоне.

Из приведенных выше уравнений следует, что прямой поток растет пропорционально числу оборотов червяка, квадрату диаметра червяка и глубине канала. «Обратный поток» прямо пропорционален третьей степени глубины канала и диаметру червяка и обратно пропорционален вязкости расплава. «Обратный» поток не зависит от числа оборотов червяка.

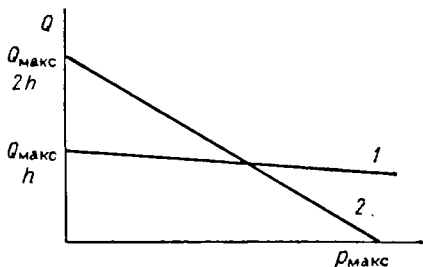


Рис. V-10. Зависимость производительности червяка от давления:

1 — червяк с глубиной канала h ; 2 — червяк с глубиной канала $2h$.

Максимальное давление, которое может развить червяк, находят по уравнению:

$$P_{\max} = \frac{\pi D n \eta L}{h^2 \operatorname{tg} \varphi}$$

где L — длина червяка, см.

Зависимость производительности червяка от давления представлена на рис. V-10. Производительность червяков с малой глубиной канала незначительно изменяется с увеличением давления. Для червяков с глубоким каналом давление резко влияет на производительность червяка.

Мощность привода червячного пресса

Величина мощности, необходимой для привода червяка, представляет собой сумму: 1) мощности, расходуемой в виде тепла, которое возникает вследствие вязкого трения при течении расплава; 2) мощности, затрачиваемой на увеличение давления расплава и 3) мощности, расходуемой на сдвиг расплава в кольцевом зазоре между наружным диаметром червяка и внутренней стенкой корпуса.

Работа, затрачиваемая червяком на преодоление внутреннего трения, превращается в тепло.

Для приближенного расчета мощности N (в кгс·см/сек) можно пользоваться уравнением, предложенным Маллоуком и Мак-Кельви:

$$N = \frac{\pi^3 D^3 n^2 \eta L}{h} + \frac{Q \Delta p}{\cos^2 \varphi} + \frac{\pi^2 D^2 n \eta L}{\delta \operatorname{tg} \varphi}$$

где D — диаметр червяка, см;
 n — число оборотов червяка, об/сек;
 L — длина червяка, см;
 h — глубина канала, см;
 Q — величина прямого потока, см³/сек;
 Δp — разность давлений на конце червяка и в начале дозирующей зоны, кгс/см²;
 φ — угол подъема винтовой нарезки, градусы;
 e — ширина гребня нарезки, см;
 δ — зазор между гребнем червяка и цилиндром, см.

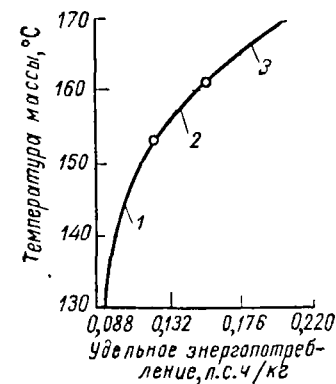


Рис. V-11. Качество изделий при различных значениях удельного энергопотребления:

1 — плохое; 2 — удовлетворительное; 3 — хорошее.

Потребляемую мощность характеризуют удельным энергопотреблением, т. е. расходом энергии на 1 кг готовых изделий (квт·ч/кг или л. с. ч/кг). Только при определенных значениях удельного энергопотребления можно получить изделия хорошего качества (рис. V-11).

При необходимости повысить энергопотребление нужно увеличить давление расплава, что может быть сделано повышением сопротивления потоку расплава путем уменьшения зазора между концом червяка и головкой или с помощью регулирующего крана, установленного между машиной и головкой.

Предложены следующие эмпирические уравнения для определения мощности N (в кВт):

$$N = 0,45^{2,5}$$

для быстроходных червячных прессов:

$$N = 0,6D^{2,5}$$

где D — диаметр червяка, см.

**Основные принципы
моделирования
червячных прессов ***

Для расчета производительности червячного пресса по формуле, приведенной на стр. 153, нужно знать давление в начале и в конце дозирующей зоны и эффективную вязкость расплава. Эти величины не могут быть выбраны произвольно, так как для каждого полимера при его переработке в изделия (трубы, пленки и т. д.) хорошее качество последних может быть обеспечено лишь при достижении определенных значений давлений и эффективных вязкостей.

В настоящее время еще отсутствуют сведения об оптимальных давлениях и эффективных вязкостях расплавов для разных полимеров при их переработке в изделия на машинах с червяками различных конструкций, поэтому нельзя считать обоснованной производительность, рассчитанную по приведенной формуле.

Машины больших мощностей дороги и, следовательно, велик риск создания таких машин по необоснованным расчетам. Предварительно строят машину малой мощности ($D \approx 45$ мм) с червяком выбранной конструкции, оснащают ее головкой для изготовления нужного изделия и проводят на ней изыскания оптимального режима. Для расчета больших машин пользуются полученными значениями давления в начале и в конце дозирующей зоны, эффективной вязкости расплава, производительности процесса, потребляемой мощности и числа оборотов червяка. Величины, полученные на экспериментальной машине малой мощности, позволяют произвести расчет этих параметров, а также глубины канала для червяка другого диаметра, но такой же конструкции, по следующим формулам, предложенным Шенкелем:

глубина канала h

$$h = h_0 \left(\frac{D}{D_0} \right)^{1-\psi}$$

производительность Q

$$Q = Q_0 \left(\frac{D}{D_0} \right)^{3-2\psi}$$

давление p

$$p = p_0 \left(\frac{D}{D_0} \right)^\psi$$

мощность N

$$N = N_0 \left(\frac{D}{D_0} \right)^{3-\psi}$$

число оборотов n

$$n = n_0 \left(\frac{D}{D_0} \right)^\psi$$

Коэффициент ψ может быть найден по уравнению:

$$\psi = \frac{1}{2} \frac{T_1 - T_0}{T_2 - T_0}$$

где T_0 — температура массы в зоне загрузки (условно — температура цилиндра в этой зоне);

T_1 — температура массы в конце зоны сжатия (условно — температура цилиндра в конце этой зоны);

T_2 — температура массы в конце дозирующей зоны (условно — температура цилиндра в конце этой зоны).

Для обычного режима работы ψ принимают равным 0,25.

**Выдавливание
через головки**

Головки предназначены для формирования из расплава полимера изделий заданной формы и состоят из двух частей: участка,

на котором расплав должен равномерно распределиться перед формующей щелью, и формующей щели с постоянным сечением, в которой расплав приобретает нужную форму.

Некоторые конструктивные особенности головок будут рассмотрены в разделах, посвященных процессам производства отдельных изделий. Общим требованием, предъявляемым ко всем типам головок, является соблюдение заданного угла входа расплава в формующую щель.

При входе потока расплава в формующую щель он испытывает гидравлическое сопротивление. Скорость сдвига в разных сечениях потока изменяется. В формующей щели происходит выравнивание этих скоростей, при этом возникают неравномерные внутренние напряжения, релаксация которых приводит к образованию на поверхности изделий шероховатости и бугристости, а в некоторых случаях изделия утрачивают правильную геометрическую форму. Для того чтобы избежать этих явлений, расплав должен подводиться к формующей щели плавно. Величина входного сопротивления имеет минимальное значение при угле, не превышающем 30° . Одновременно с уменьшением угла входа уменьшается вероятность застоя потока на участках входа.

В одной из проведенных работ критическая скорость сдвига при плоско-срезанном входе составляла 200 сек^{-1} , при расшире-

нии входной части под углом 40° она повысилась до 1000 сек^{-1} , а при 30° — до 5000 сек^{-1} .

Производительность Q (в $\text{см}^3/\text{сек}$) формующей щели головки прямо пропорциональна давлению p перед входом в щель и обратно пропорциональна сопротивлению ω , которое оказывают стенки формующей щели, и вязкости η расплава:

$$Q = \frac{p}{\omega \eta}$$

Формующий инструмент характеризуют не сопротивлением ω , а обратной ему величиной — константой $K = 1/\omega$ (в см^3).

Заменив в предшествующем уравнении величину ω константой K , получим:

$$Q = \frac{Kp}{\eta}$$

откуда

$$K = \frac{Q}{p} \eta$$

Значение K для наиболее простых геометрических форм сечения головки определяется по формулам:

для круглого отверстия

$$K = \frac{\pi R^4}{8L_{\text{отв}}}$$

для щели

$$K = \frac{b_{\text{щ}} h_{\text{щ}}^3}{12L_{\text{щ}}}$$

где R — радиус отверстия;

$L_{\text{отв}}$ — длина отверстия;

$h_{\text{щ}}$ — зазор щели;

$b_{\text{щ}}$ — ширина щели;

$L_{\text{щ}}$ — длина щели.

Если принять, что толщина кольцевого зазора h , а L его средняя длина, то это уравнение может быть использовано для расчета трубных головок.

Эффективная вязкость η перерабатываемого полимера, входящая в уравнение для определения производительности головки, может быть определена по графикам зависимости скорости сдвига от эффективной вязкости*, если известна скорость сдвига.

Расчет скорости сдвига v_c (в сек^{-1}) при заданной производительности Q может быть произведен по уравнениям:

для круглого отверстия

$$v_c = \frac{32Q}{\pi d_{\text{отв}}^3} \quad \text{или} \quad v_c = \frac{4Q}{\pi R_{\text{отв}}^3}$$

* См. например, Э. Бернхардт, Переработка термопластичных материалов, Изд. «Химия», 1965.

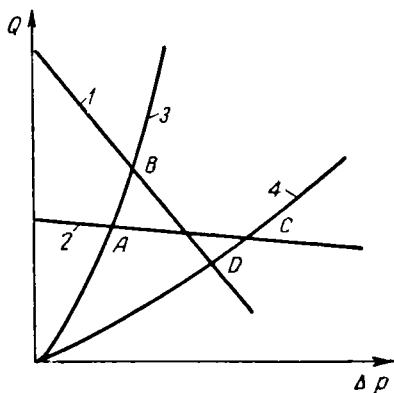
для щсш

$$v_c = \frac{6Q}{h_{\text{ш}}^2 b_{\text{ш}}}$$

где $d_{\text{отв}}$ — диаметр отверстия, см.

Сопротивление головки определяет величину давления, развиваемого червяком, в свою очередь давление расплава и производительность головки находятся в прямой зависимости между собой.

Производительность червячного пресса с головкой может быть определена с помощью зависимостей, данных на рис. V-12. Точки пересечения кривых производительности червяка и головки являются «рабочими» точками (A, B, C, D), характеризующими производительность агрегата.



ЧЕРВЯЧНЫЕ ПРЕССЫ

Рис. V-12. Определение производительности червячного пресса с головкой:

1 — червяк с глубоким каналом; 2 — червяк с мелким каналом; 3 — головка с большим сечением; 4 — головка с малым сечением.

ных полимеров. Многочисленные изделия из различных материалов могут быть получены на одном прессе со сменными червяками.

Возможность использования одного червячного пресса для многих процессов придает им универсальность. Поэтому их часто называют универсальными червячными прессами.

Одночервячный пресс состоит из следующих основных узлов: 1) привода; 2) червяка; 3) цилиндра; 4) питателя; 5) систем обогрева, охлаждения и контроля температуры; 6) станины.

Привод червячного пресса должен обеспечить вращение червяка и плавное регулирование числа его оборотов, что может быть выполнено с помощью механических, электрических и гидравлических устройств.

Механическое регулирование обычно применяют на машинах с небольшими значениями установленной мощности. В этом случае привод состоит из электродвигателя, питающегося от сети пере-

менного тока, вариатора и основного редуктора. В таком приводе регулирование числа оборотов червяка осуществляется с помощью вариатора при работающем электродвигателе. В одной из конструкций вариатора (рис. V-13) шкив имеет переменный средний

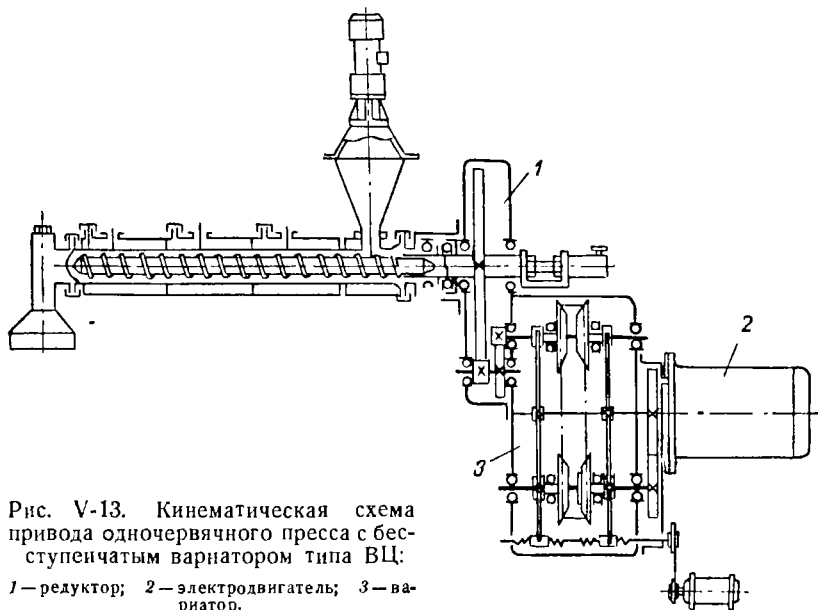


Рис. V-13. Кинематическая схема привода одночервячного прессы с бесступенчатым вариатором типа ВЦ:

1—редуктор; 2—электродвигатель; 3—вариатор.

диаметр и состоит из конических дисков. Обе пары дисков подвижны. При раздвигании дисков, по которым вращается цепь, изменяются диаметр и, следовательно, число оборотов цепи, а также передаточное отношение. Этот вариатор обеспечивает бесступенчатое регулирование скорости.

В случае электрического регулирования числа оборотов червяка изменяется число оборотов электродвигателя, при этом передаточное отношение механической передачи остается постоянным. Регулирование скорости вращения двигателей постоянного тока осуществляется за счет изменения напряжения. Регулирование скорости вращения двигателя переменного тока выполнимо на коллекторных двигателях с перемещающимися щетками (система Шраге-Рихтер). Эти моторы обеспечивают степень регулирования 1:4, у них низкий к. п. д. Двигатели постоянного тока регулируют в более широких пределах, но они должны быть снабжены преобразовательными агрегатами. Обычно при средних величинах установленной мощности используют двигатели типа Шраге-Рихтер,

при потреблении больших мощностей — двигатели постоянного тока. Во избежание перегрузок двигателей в приводах устанавливают муфты сцепления.

Гидравлическое регулирование числа оборотов червяка применяют редко.

Червяк. Основным параметром, определяющим мощность червячного пресса, является диаметр червяка D . Обычно $D=20 \div \div 300$ мм. Единичные экземпляры машин имеют червяки диаметром >300 мм. Как уже отмечалось, длину червяка выражают числом его диаметров ($20; 24; 30 D$).

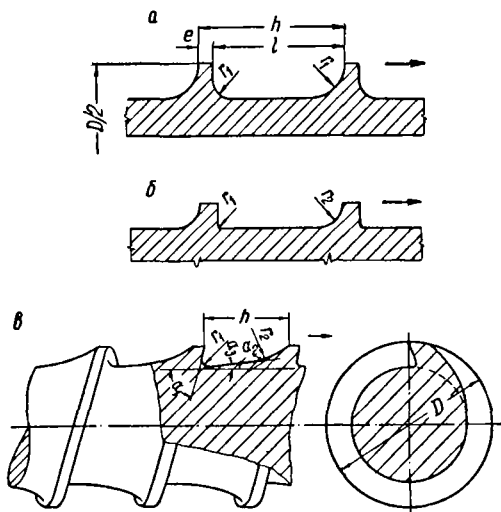


Рис. V-14. Резьба червяков:

a — симметричная; $б$ — асимметричная; $в$ — асимметричная со скосом передней стенки витка.

Внутри червяков — чаще всего на протяжении половины длины — имеется канал, в который подают охлаждающий агент (обычно воду).

Большинство червяков самоустанавливающиеся. Они соединяются с приводным валом редуктора шлицами или шпонкой и легко вынимаются из цилиндра.

Червяки изготавливают из высококачественных сталей и подвергают термической или термохимической обработке до твердости 50—60 (по Роквеллу) и затем полируют.

Необходимо, чтобы по наружному диаметру червяк был обработан точно, так как зазор между ним и цилиндром не должен превышать $0,002 D$, а при малых размерах червяка не более $0,005 D$.

Резьба червяка имеет трапецевидный или прямоугольный профиль, который может быть симметричным или асимметричным (рис. V-14). Ширина гребня нарезки составляет $\sim 0,1 D$.

Основные характеристики червяков с длинной дозирующей зоной сведены в табл. V-3, в которой приведены рекомендуемые типы однозаходных червяков диаметром 63,5 мм, длиной $20D$, шагом, равным $1D$, и глубиной канала в загрузочной зоне 12 мм.

Таблица V-3

**Основные характеристики червяков
с длинной дозирующей зоной**

Тип червяка	Длина дозирующей зоны, витки	Длина зоны сжатия, витки	Глубина канала в дозирующей зоне, мм
9А	9	1	2,87
9Б			2,82
9В			3,18
8			3,43
7А	7	4	3,8
6А	6	5	4,2
5	5	6	4,7
7Б	7	1	2,82
7В	7		3,18
6Б	6		3,43

Таблица V-4

Рекомендуемые типы червяков

Материал	Изделия	Форма частиц материала	Рекомендуемый тип червяка
Полиэтилен низкой плотности (высокого давления)	Покрывные бумаги	Гранулы	9А, 9Б, 9В
	Пленки		9Б, 9В, 8
	Трубы		9Б, 9В, 8
Полиэтилен высокой плотности (низкого давления)	Трубы	»	9Б, 9В, 8
	Листы	»	
Полипропилен	Разные изделия	»	7В, 9Б
Поливинилхлорид:	» »	»	6А, 5
твердый		Порошкообразная композиция	8, 7А, 6А, 5 9В, 8, 7А, 6Б
мягкий			
Полистирол	Гранулы	Бисер	9А, 9Б, 7В
Полистирол ударопрочный	Листы	Гранулы	9Б, 9В
Полиамиды	Разные изделия	»	9Б, 9В
Полиакрилаты	Листы	»	8, 7А

В табл. V-4 даны рекомендации по использованию червяков этих типов для переработки полимерных материалов в изделия.

Червяки объединены в три группы, отличающиеся между собой длинами зон — загрузочной, сжатия и дозирующей. Первая и третья группы имеют одинаковую длину зоны сжатия — один виток, но отличаются длинами двух других зон. В первой группе длина дозирующей зоны составляет $\sim \frac{1}{2}L$, а в третьей $\sim \frac{1}{3}L$. Вторая группа отличается от первой и третьей длиной зоны сжатия ($\sim \frac{1}{3}L$). Каждая из двух других зон второй группы имеет такую же длину. Основное отличие между червяками в пределах каждой группы — глубина канала в дозирующей зоне. При постоянной глубине канала в загрузочной зоне изменение его глубины в дозирующей зоне, соответственно, меняет степень сжатия.

Пользуясь уравнениями для моделирования червяков, по данным, приведенным в табл. V-3, можно найти глубину канала для червяков других диаметров.

Рекомендации по использованию разных типов червяков для переработки полимерных материалов в изделия сведены в табл. V-4.

Успешно применяются двухстадийные червяки (см. стр. 151). Зона дегазации такого червяка, имеющая глубокий канал, позволяет вести вакуум-отсос летучих продуктов, содержащихся в перерабатываемых полимерных материалах.

Характеристика двухстадийного червяка диаметром 63,5 мм и шагом, равным его диаметру, приведена в табл. V-5.

Таблица V-5
Характеристика двухстадийного червяка

Зоны	Длина зоны в D	Глубина канала, мм
Загрузочная	3	8,9
Первая сжатия	7,7	—
» дозирующая	4	2,4
Сопротивление	1,5	—
Дегазации	3	10,2
Вторая сжатия	0,5	—
» дозирующая	7,5	2,4

Чтобы зона дегазации не переполнялась расплавом, при конструировании двухстадийных червяков необходимо выполнять следующие условия: 1) глубина канала во второй дозирующей зоне должна быть в 1,6—1,7 раза больше глубины канала в первой дозирующей зоне; 2) объем канала на одном витке в зоне дегазации должен быть в 3—5 раз больше объема канала на одном

витке в первой дозирующей зоне. В некоторых конструкциях червяков перед зоной дегазации делают небольшую торпеду с обратной резьбой, создающую сопротивление потоку — это также исключает переполнение зоны дегазации расплавом полимера. При такой конструкции червяка в цилиндре имеется канал, по которому расплав выдавливается в зону дегазации. Заполнение зоны дегазации можно также регулировать при помощи двух вентиляй, которые устанавливают перед зоной дегазации и головкой.

Современные машины снабжены специальным устройством, позволяющим перемещать червяк в осевом направлении, благодаря чему можно регулировать зазор между концом червяка и сопряженной с ним деталью головки или перехода. Давление расплава можно регулировать также и с помощью игольчатого клапана, устанавливаемого в переходе, соединяющем цилиндр с головкой.

Цилиндр обычно состоит из двух частей: первая из них (загрузочная) имеет рубашку для охлаждения водой; вторая (собственно цилиндр) может быть целой или состоять из отдельных секций.

К корпусу загрузочной части с одной стороны присоединяется узел упорного подшипника, с другой — собственно цилиндр.

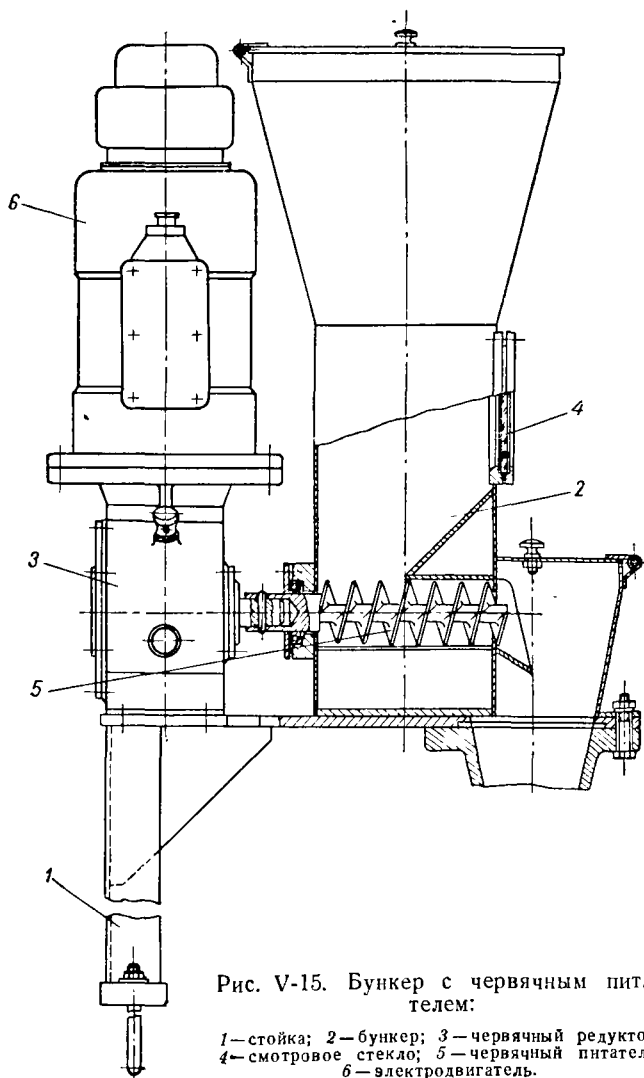
Цилиндр подвергается воздействиям: неравномерного нагрева (по длине); абразивного трения полимером; давления расплава полимера (достигающего 500 кгс/см^2) и резких температурных колебаний вследствие чередующихся нагревов и охлаждений. Такие условия работы цилиндра требуют применения высококачественных материалов для его изготовления. Поэтому цилиндр делают из двух частей: корпуса и запрессованной в нем гильзы, которую изготавливают из легированной стали. Твердость поверхности гильзы должна быть равна 55—70 (по Роквеллу). Для переработки полимеров, не вызывающих коррозии металлов, гильзы делают из низколегированных сталей и подвергают азотированию.

В загрузочной части цилиндра делают отверстие, размер которого в осевом направлении равен 1—2 шагам червяка. Над загрузочным отверстием устанавливают питатели.

Питатели. Равномерное выдавливание материала червяком обеспечивается равномерным питанием машины полимерным материалом. Пульсирующая подача может привести к колебаниям количества материала, выдавливаемого червяком в единицу времени. Многие полимерные материалы обладают способностью слипаться, что приводит к образованию сводов над загрузочным отверстием и, следовательно, к перерывам в подаче материала в машину и пульсации ее производительности.

Простейший питатель представляет собой воронку с пальцевым ворошителем. Эта конструкция питателя применяется для

материалов, которые не зависят в воронке, и для процессов, в которых не нужно регулировать подачу материала в машину.



Питающие устройства, одновременно позволяющие регулировать дозировку исходного полимера, бывают двух типов: 1) червячные питатели и 2) вибропитатель.

Одна из конструкций червячного питателя (рис. V-15) представляет собой корытообразное устройство, в котором вращается транспортный червяк (без сжатия). Вращающийся червяк ссыпает полимерный материал в загрузочное отверстие машины. Изменением числа оборотов червяка можно регулировать дозировку полимера

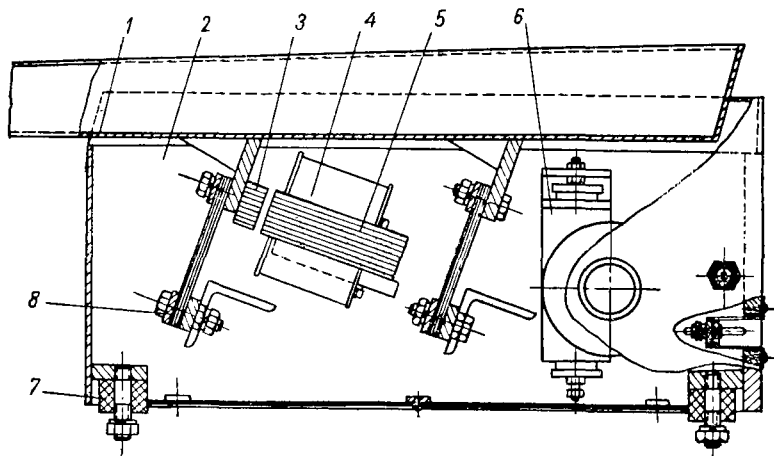


Рис. V-16. Вибропитатель:

1 — лоток; 2 — корпус; 3 — якорь; 4 — катушка электромагнита; 5 — сердечник; 6 — селеновый выпрямитель; 7 — амортизатор; 8 — пружины.

Вибропитатель (рис. V-16) представляет собой лоток, вибрирующий под действием электровибратора. Частицы полимера, падающие на лоток при подскоках, совершают поступательное движение. Изменением амплитуды колебаний регулируется производительность.

Полимер перед загрузкой в машину рекомендуется сушить и нагревать в установке с циркуляцией горячего воздуха (рис. V-17).

Системы обогрева и охлаждения. Для нагрева машин чаще всего применяют электронагревательные элементы омического сопротивления, расположенные непосредственно на поверхностях обогреваемых узлов (цилиндр, головка).

Электронагреватели объединяют в секции, обогревающие отдельные участки — зоны. Чтобы быстрее охладить перегретую зону, используют воздушное или водяное охлаждение. Воздух нагнетают воздуходувкой, обслуживающей только одну зону. Схема электронагрева и воздушного охлаждения дана на рис. V-18. При перегреве зоны автоматически выключается питание электронагревателей и включается воздуходувка; при понижении температуры ниже

заданной автоматически включается питание электронагревателей и выключается двигатель воздуходувки.

При охлаждении цилиндра водой на каждой его зоне устанавливают медные трубки, в которые поступает вода; регулирование охлаждения производят вручную вентилями.

В последнее время начинают применять индукционный способ нагрева, который дает высокую равномерность нагрева цилиндра по всему сечению, большую скорость нагрева, снижает внешние теплотери, повышает точность регулирования и увеличивает время работы электронагревателей без их замены.

Устройства контроля, управления и регулирования процесса. Современные червячные прессы комплектуют следующими устрой-

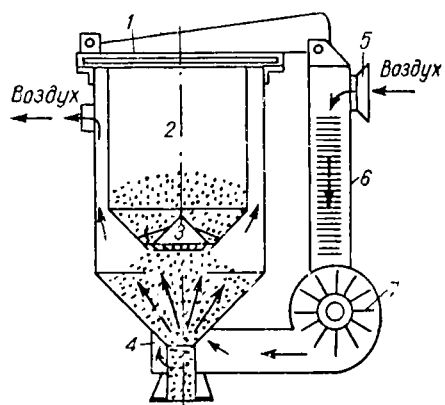


Рис. V-17. Установка для предварительного подогрева и сушки полимерного материала:

1 — крышка; 2 — внутренний бункер; 3 — распределитель с магнитом; 4 — нижний фильтр; 5 — фильтр; 6 — нагревательный элемент; 7 — вентилятор.

ствами управления, контроля и регулирования процесса:

1) приборами, регулирующими температуру зон цилиндра, и связанными с ними сигнальными лампами;

2) прибором, указывающим температуру расплава полимера;

3) прибором, указывающим давление расплава полимера;

4) пусковой арматурой электродвигателей;

5) амперметром в цепи главного двигателя;

6) прибором дистанционного контроля и управления скоростью вращения червяка;

7) автоматическим устройством для выключения главного двигателя при перегрузках или устройством, снижающим в этих условиях число оборотов червяка;

8) системой блокировки включения главного двигателя с включением в работу масляного насоса, охлаждения редуктора и т. п.

Одна система обогрева и регулирования температуры зон цилиндра состоит из термопары, установленной в специальном кармане (вблизи внутренней поверхности цилиндра), регулирующего милливольтметра и обмотки нагревателя.

Включающие контакты могут находиться в трех положениях — замкнутом, промежуточном и разомкнутом. В замкнутом положении контактов электросопротивление нагревателя получает полную мощность от сети; в промежуточном — электроэнергия подается

прерывисто, поэтому потребление ее неполное; в разомкнутом положении контактов электросопротивление нагревателя отключено от питающей сети.

Регулирующий прибор работает таким образом, что при температуре ниже заданной падающая дужка милливольтметра включает нагреватель на полную мощность. В момент достижения заданной температуры она размыкает контакт и отключает цепь от нагревателя. Кроме контактов, включающих и выключающих питание нагревателей, в приборе имеются импульс-контакты, включенные последовательно с контактами прибора, но действующие

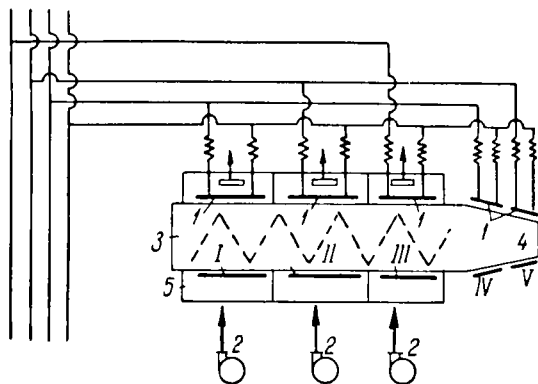


Рис. V-18. Схема электронного нагрева и воздушного охлаждения по зонам цилиндра I—V:

1 — электронагреватели; 2 — воздушный вентилятор;
3 — цилиндр червячного прессы; 4 — головка; 5 — кожух цилиндра.

независимо. Импульс-контакты начинают работать, когда температура нагрева близка к заданной (примерно на 10 град ниже). Они включают и выключают питание нагревателей прерывисто, через заданные промежутки времени, при этом регулируется мощность нагревателей.

Продолжительность питания электронагревателя может регулироваться импульс-контактом в пределах от 2 до 17 сек. При таком способе регулирования уменьшаются колебания температуры и обеспечивается точность нагрева ± 1 град.

Вследствие того, что термопары измеряют температуру стенок зон цилиндра и головки, их показания не соответствуют истинной температуре расплава полимера, поэтому в переходе между цилиндром и головкой просверливают отверстие и устанавливают гильзу с термопарой таким образом, чтобы спай термопары был в непосредственном контакте с расплавом. Показания термопары регистрируются электронным прибором.

Контроль давления расплава также обычно производится в переходе между цилиндром машины и головкой. Давление расплава может быть определено манометром, заполненным теплостойкой жидкостью (силиконовое масло и т. п.). В переходе просверливается отверстие и в него ввинчивается трубка, соединенная с манометром.

Существуют приборы, действие которых основано на изменении сопротивления проводника-тензомера под действием растягивающих усилий. В таком приборе давление расплава вызывает деформацию детали, к которой приклеен тензометрический датчик. Изменение характеристики датчика определяется вторичным прибором, градуированным в кгс/см^2 .

Тензометрический прибор состоит из корпуса, поршня и измерительного элемента с тензометрическими проволочными преобразователями. Давление массы воспринимается поршнем, передается на измерительный элемент, преобразуется тензометрическим датчиком и регистрируется вторичным прибором. Для предотвращения попадания расплава в прибор устанавливают тонкую мембрану. Корпус прибора имеет несколько каналов, в которые поступает охлаждающая вода.

Ко-кнетер

Для гранулирования и перемешивания полимеров успешно применяют машину оригинальной конструкции, представляющую собой сочетание червячного пресса с осциллирующим червяком, в котором происходит пластикация полимера, с обычным червячным прессом, выдавливающим пластицированный полимер в виде прутков или ленты. На этой машине достигается хорошее смешение многокомпонентных композиций.

Червячный пресс с осциллирующим червяком в раскрытом положении изображен на рис. V-19.

Диаметр осциллирующего и обычного червяков одного из типов такого агрегата равен 200 мм, длина нарезанной части составляет 7,5 D.

Червяк, кроме вращательного движения, совершает еще поступательно-возвратное — он осциллирует. Геометрические размеры канала не изменяются на всем его протяжении, поэтому материал не сжимается. По всей длине червяка сделаны прорезы с интервалом, равным $\frac{1}{3}$ шага. Внутри червяка просверлен канал. Цилиндр состоит из двух половин; на внутренней поверхности его с интервалом, равным шагу нарезки, расположены зубья, входящие в канал червяка.

При вращении червяка зубья перемещаются по винтовому каналу и прорезам в нарезке червяка, чем обеспечивается интенсивное перемешивание материала и продвижение его к профилирующему прессу.

Машина обогревается жидким теплоносителем.

Одночервячный пресс с осциллирующим червяком характеризуется пульсирующей подачей материала, поэтому он питает обычный одночервячный пресс, снабженный червяком с постоянным шагом и равномерно выдавливающий расплав материала.

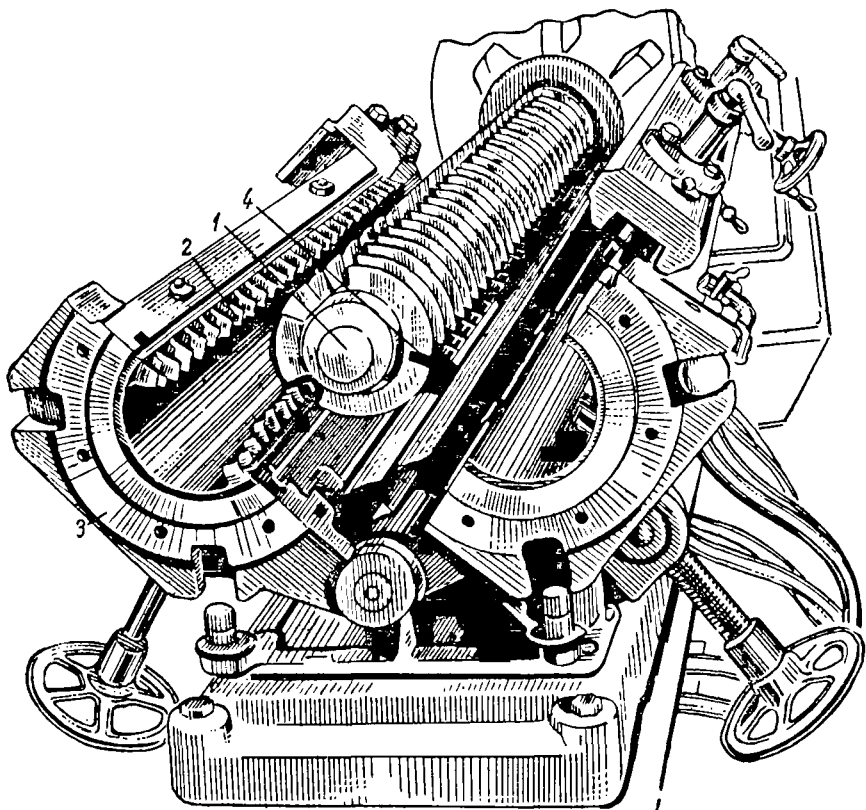


Рис. V-19. Одночервячный пресс с осциллирующим червяком (ко-кнетер) в раскрытом положении:

1 — червяк; 2 — зубья; 3 — цилиндр; 4 — прорези червяка.

Двухчервячный пресс

Для гранулирования полимеров успешно используют двухчервячный пресс (рис. V-20). Он состоит из следующих основных узлов: 1) привода; 2) корпуса; 3) червяков; 4) узла распределительных шестерен и упорных подшипников; 5) систем обогрева, охлаждения и регулирования температуры; 6) питателя и 7) станины.

Червяки такого пресса расположены в вертикальной плоскости, находятся во взаимном зацеплении и вращаются в одну сторону. Они многостадийные, зонированные, оба установлены в одной расточке корпуса. В первой зоне объем канала уменьшается, давление в нем увеличивается, материал уплотняется, он нагревается и пластифицируется. В зоне дегазации объем канала резко увеличи-

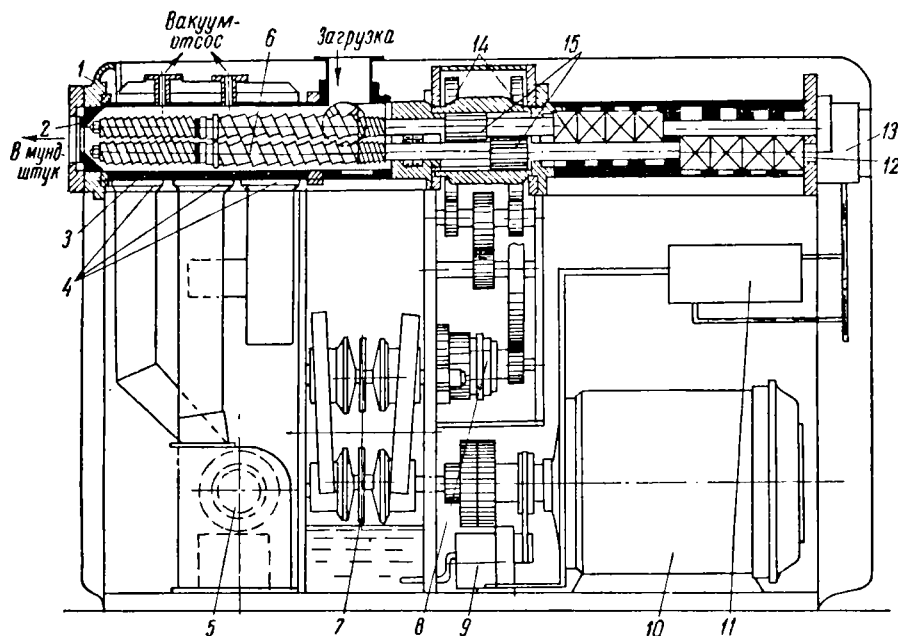


Рис. V-20. Двухчервячный пресс фирмы Вернер и Пфлейдерер ($L:D = 700:83$):

1 — головка; 2, 3 — корпус; 4 — нагревательные элементы корпуса; 5 — вентилятор для охлаждения корпуса; 6 — загрузочный червяк; 7 — варпатор; 8 — редуктор; 9 — насос для циркуляционной смазки; 10 — электродвигатель мощностью 28 кВт; 11 — радиатор водяного охлаждения масло-системы; 12 — упорный узел; 13 — охлаждающие устройства червяков (барботеры); 14 — двойная шестерня с наружным и внутренним сцеплениями; 15 — шестерни с наружным сцеплением.

вается, давление падает до нуля и из расплава удаляются летучие. Во второй стадии объем канала уменьшается, материал уплотняется и выдавливается.

Как уже упоминалось, в обычных двухчервячных прессах материал перемещается целыми объемами, не подвергаясь деформации сдвига; поэтому в таком прессе на червяках имеются секции, которые обеспечивают перемешивание материала. Эти червяки собирают из приводного вала и насаженных на него червячных втулок и трехгранных или круглых кулачков. Отдельные секции

червяков выполняют следующие функции: 1) создают давление в расплаве; 2) перемешивают расплав и 3) удаляют летучие из расплава. Перемешивание материала производится секциями из трехгранных или круглых кулачков. Червяки могут быть собраны из разных сочетаний названных секций. Круглые кулачки насаживаются на вал эксцентрично. Трехгранные кулачки при сборке могут смещаться примерно на 30° таким образом, что образуют многозаходную нарезку — прямую или обратную. В этих секциях происходит не только перемешивание материала, но и продвижение его вперед. Червячные втулки имеют трехзаходную нарезку. Для разных материалов профили собранных червяков различны. При переработке поливинилхлорида степень сжатия составляет 1,5, для полиэтилена высокой плотности и полипропилена она равна 2,5.

Вращение электродвигателя с регулируемым числом оборотов передается червяку через узел распределительных шестерен с внутренним зацеплением.

Привод снабжен циркуляционной масляной системой, состоящей из сборника, шестеренчатого насоса, фильтра, холодильника и манометра. Корпус пресса тоже собирают из секций. Зона загрузки имеет рубашку, в которую поступает охлаждающая вода. В верхней части корпуса сделаны отверстия, соединенные с вакуумной линией.

При электрообогреве корпуса его поверхность выполняется ребристой, что облегчает охлаждение воздухом, подаваемым воздушными дувками. При жидкостном обогреве в корпусе делают специальные каналы, по которым поступает теплоноситель или охлаждающая вода.

Характеристика двухчервячных прессов дана в табл. V-6.

Т а б л и ц а V-6
Характеристика двухчервячных прессов

Диаметр червяков, мм	Длина червяков		Число оборотов, об/мин	Мощность привода, квт
	мм	D		
83	700	8,5	25—100	29,4
83	1100	13	12—120	43—60
83	1400	17,5	15—150	60
120	1500	12,5	40—130	140

Некоторые новейшие модели машин снабжены двухчервячным питанием, обеспечивающим уплотнение порошкообразных полимеров с малым насыпным весом (насыпной плотностью). Скорость вращения такого питателя автоматически регулируется в зависимости

от нагрузки главного двигателя; при увеличении нагрузки на двигатель скорость вращения червяков питателя уменьшается.

Адиабатические машины Адиабатические машины работают без подвода тепла извне, а лишь за счет того тепла, которое выделяется при движении твердого полимера в зоне загрузки (внешнего трения) и главным образом при течении расплава полимера (внутреннего трения). Скорость вращения червяка этих машин достигает 7 м/сек.

Характеристика адиабатических машин дана в табл. V-7.

Т а б л и ц а V-7
Характеристика адиабатических машин

Диаметр червяка, мм	Число оборотов, об/мин	Мощность двигателя, л. с.	Производительность, кг/ч
18	1500 или 750	2,0	3—7
35	370	8,0	15—25
65	250	36,0	—

Они не получили широкого распространения, так как один из основных параметров процесса — температура в этих машинах — не регулируется произвольно. Если учесть, что разные партии полимера одной марки отличаются по вязкости, то будет ясно, что между потребляемой мощностью и температурой расплавов нет однозначной зависимости. Поэтому невозможно поддерживать постоянными температуру и давление, а следовательно, и получать стандартные изделия.

Дисковый пресс. При течении расплавов они подвергаются пластической и вязкоэластической обратимой деформациям. Последняя вызвана распрямлением молекулярных цепей. Она приводит к появлению напряжений, перпендикулярных потоку (нормальных напряжений). Это явление называют эффектом Вайссенберга.

Эффект Вайссенберга был использован для создания дискового пресса, в котором твердый полимер расплавляется в зазоре между вращающимся и неподвижным дисками. Нормальные напряжения, направленные перпендикулярно плоскости дисков, создают давление, которое выдавливает расплав через формующее отверстие решетки, установленной в неподвижном диске. Максимальное давление расплава при вращении возникает в центре диска.

Рабочая часть дискового пресса (рис. V-21) состоит из двух профилированных дисков — вращающегося 9 и неподвижного 8. Подвижной диск установлен на шпинделе 3. Неподвижный диск

может перемещаться при помощи штанг 2. В него ввинчена формирующая решетка 11 с нагревателем 12. На шпинделе и неподвижном диске имеются спиральные канавки, препятствующие высыпанию и вытеканию материала.

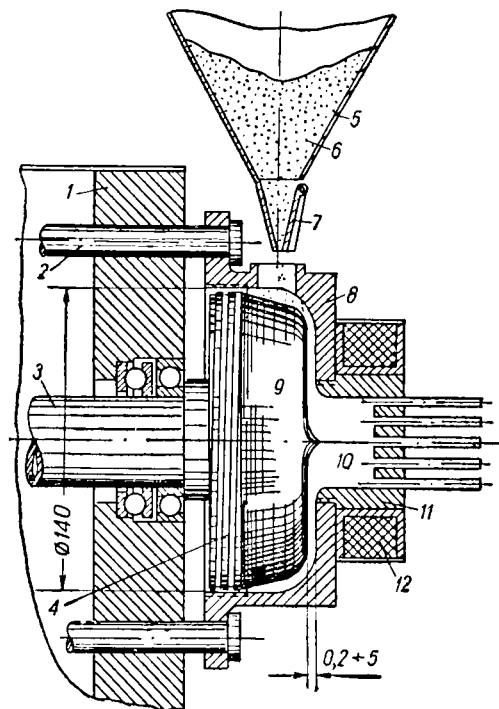


Рис. V-21. Дисковый пресс:

1 — корпус головки; 2 — штанга; 3 — шпиндель; 4 — лабиринтное уплотнение рабочей камеры; 5 — бункер; 6 — исходный материал; 7 — заслонка; 8 — неподвижный диск; 9 — вращающийся диск; 10 — отверстия; 11 — формирующая решетка; 12 — нагреватель.

Подача материала из бункера 5 в загрузочное отверстие может регулироваться заслонкой 7. При диаметре дисков 75 мм и оборотах 100 об/мин производительность пресса равна 6—7 кг/ч. Для каждого полимера должны быть подобраны профиль диска и зазор между дисками.

Такой пресс развивает давление до 10 кгс/см^2 , что ограничивает его применение. Однако хорошее смешение компонентов, низкие удельные энергозатраты и простота конструкции делают перспективным использование дисковых прессов для смешения и грануляции.

ГРАНУЛИРОВАНИЕ

Гранулирование полимеров и композиций на их основе повышает насыпной вес (насыпную плотность) и обеспечивает однородность материала по размерам частиц. Повышение насыпного веса увеличивает производительность червячного пресса, поэтому в большинстве случаев материалы, предназначенные для переработки на червячных прессах и литевых машинах, выпускают в гранулированном виде.

Гранулы могут быть цилиндрической, кубической, сферической и чешуйчатой форм, чаще всего — цилиндрической или кубической, и имеют размер 3—5 мм.

Процесс гранулирования состоит из следующих операций: 1) выдавливания прутков или ленты из полимера через профилирующую головку; 2) резки прутков или ленты и 3) охлаждения — гранул, прутков или ленты.

Существуют две схемы гранулирования, отличающиеся последовательностью перечисленных операций. По первой схеме выдавливают прутки, которые режут в плоскости головки на гранулы, охлаждаемые воздухом или водой, по второй — прутки или ленту, которые сначала охлаждают воздухом или водой, а затем режут. Оборудование для гранулирования по первой схеме проще, поэтому ею пользуются чаще.

Агрегат для гранулирования по первой схеме состоит из червячного пресса, головки, режущего приспособления, охлаждающего и транспортирующего устройства; по второй схеме — из червячного пресса, головки, охлаждающей ванны и режущего устройства.

Для гранулирования могут быть использованы одно- и много-червячные машины любой конструкции.

При резке прутков в плоскости головки гранулирующее устройство состоит из головки, ножей, привода ножей, защитного кожуха и вентилятора с воздухопроводом.

Головка представляет собой диск с отверстиями диаметром ~3 мм, расположенными в шахматном порядке. Для ее нагрева используют ленточные нагреватели (см. стр. 111).

Режущее устройство представляет собой шпиндель, на конце которого укреплен двухлопастной нож. С помощью пружины нож прижимается к поверхности решетки. Вращение его осуществляется от самостоятельного привода с варнатором, позволяющим бесступенчато изменять число оборотов.

Гранулы отрезаются в плоскости решетки только одной лопастью ножа; в это время вторая лопасть находится вне плоскости решетки. При таком расположении лопастей нож нагревается меньше, чем в случае, когда он укреплен на валу, расположенном

в центре решетки, из которой выдавливаются прутки. Вал, вращающий нож, параллелен цилиндру машины и может перемещаться в горизонтальной плоскости. Скорость резания 5—22,5 м/сек. Зазор между плоскостью головки в центре и ножом 0,03—0,05 мм.

Горячие гранулы удаляются из пространства, замкнутого кожухом, в систему пневмотранспорта, заканчивающуюся сборником. В процессе транспортирования гранулы одновременно охлаждаются. При охлаждении гранул водой они падают на наклонное вибросито, на котором с них стряхиваются капельки воды; оставшаяся влага испаряется за счет тепла, сохранившегося в гранулах.

При получении гранул из лент они сначала охлаждаются, а затем режутся дисковыми ножами в долевом направлении на прутки, которые оттягиваются тянущими валиками и направляются на ротационный нож для поперечной резки.

ПРОИЗВОДСТВО ПЛЕНОК

Большинство пленок из синтетических полимеров влагонепроницаемо, устойчиво к действию химически активных веществ, пропускает лучи солнечного света, обладает хорошими диэлектрическими и механическими свойствами. Они широко применяются во многих отраслях народного хозяйства в качестве электро- и гидроизоляции, упаковочного материала, всевозможных изделий бытового назначения (плащ, скатерти) и заменителей силикатного стекла (парники, временные строительные сооружения).

Пленки из искусственных полимеров (нитрата целлюлозы, ацетата целлюлозы, вискозы) получают из растворов на поливочных машинах.

Промышленное производство пленок из синтетических полимеров (полиэтилен, поливинилхлорид и др.) осуществляется непрерывным методом из расплавов полимеров. Такие пленки получают преимущественно двумя способами, отличающимися один от другого родом применяемого оборудования (каландры или червячные прессы). Поливинилхлоридные пленки получают преимущественно каландровым способом. Пленки из полиэтилена производят выдавливанием червячными прессами.

Расплав, образующийся в червячном прессе, может быть выдавлен через головки двух типов: 1) круглую с кольцевым зазором и 2) плоскую с щелевым зазором.

В головке первого типа формируется тонкостенная труба, подвергающаяся пневматическому растяжению; в головках второго типа образуется плоское полотно.

**Метод
пневматического
растяжения**

Производство пленок методом пневматического растяжения может быть организовано по трем схемам, предусматривающим направление цилиндрического рукава пленки от головки в приемное устройство: 1) вертикально вверх — рис. V-22; 2) вертикально вниз — рис. V-23; 3) горизонтально — рис. V-24.

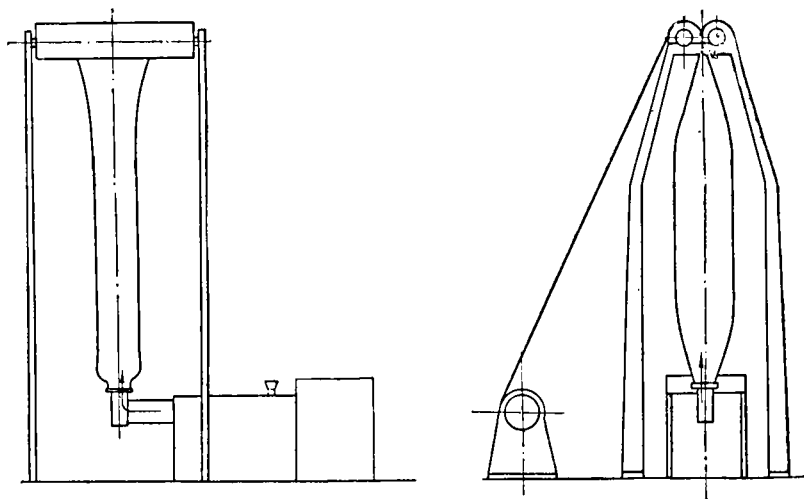


Рис. V-22. Установка для получения пленок (приемка вверх).

По первой схеме установки легче обслуживать агрегат, чем по второй, потому что червячный пресс и приемное устройство расположены на одном уровне. По этой схеме обеспечивается также получение толстых пленок; при приемке вниз толстостенный рукав обрывается под действием собственного веса. При горизонтальной приемке трудно получить пленку с небольшой разнотолщиной, потому что в этом случае всегда велика разница между температурой воздуха, окружающего нижнюю и верхнюю поверхности рукава. Таким образом, чаще всего пользуются первой схемой.

Пленочный агрегат изображен на рис. V-25. Образование расплава происходит в червячном прессе. Формование цилиндрического рукава осуществляется головкой 7. Пневматическое растяжение производится сжатым воздухом, подаваемым внутрь рукава 8, через головку. Выход воздуха из рукава закрывается тянущими отжимными валками 4, которые зажимают рукав. Через редукционный клапан с точным манометром в рукав подается воздух $p_{изб} = 0,2 - 0,3$ ат, при этом внутри рукава устанавли-

вается давление $p_{изб} = 2-3$ мм вод. ст. Рукав охлаждается воздухом, омывающим его на пути от головки до валков 4. Охлаждение может быть интенсифицировано принудительной подачей воздуха, нагнетаемого воздуходувкой 13, в охлаждающее кольцо 6, расположенное над головкой. Складывание рукава производится с помощью двух щек 5. Обрезка кромок рукава выполняется

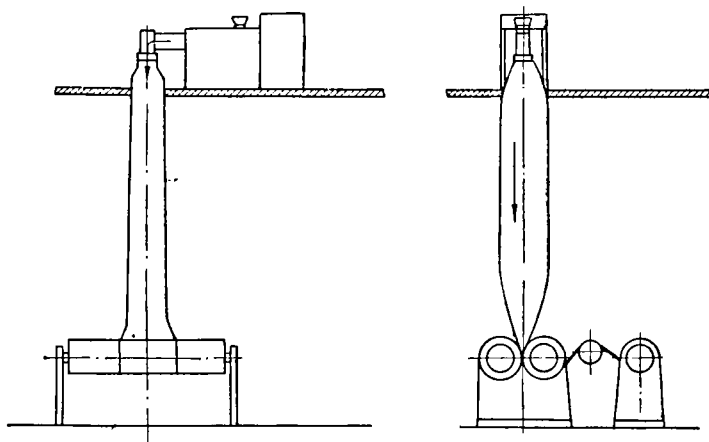


Рис. V-23. Установка для получения пленок (приемка вниз).

режущим приспособлением 2. После обрезки из рукава образуются два полотна, которые разглаживаются, а затем наматываются на

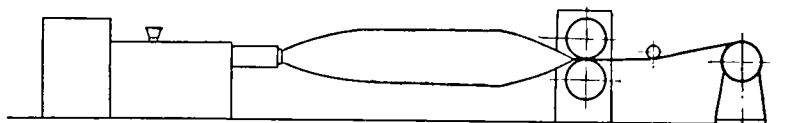


Рис. V-24. Установка для получения пленок (горизонтальная приемка).

втулки 12 (отдельно на катушку наматываются обрезанные краевые ленты).

Все узлы, обеспечивающие пневматическое растяжение и оттяжку пленки, складывание рукава, обрезку кромок и намотку разглаженной пленки, входят в устройство, которое принято называть приемным.

Из каждого полимера выпускается широкий ассортимент пленок, отличающихся по толщине и ширине. Толщина выпускаемых пленок 20—600 мк, ширина их может достигать 10 м. Наибольшее распространение получили тонкие пленки (30—60 мк). Производство

таких пленок разной ширины осуществляется на агрегатах трех типов (табл. V-8).

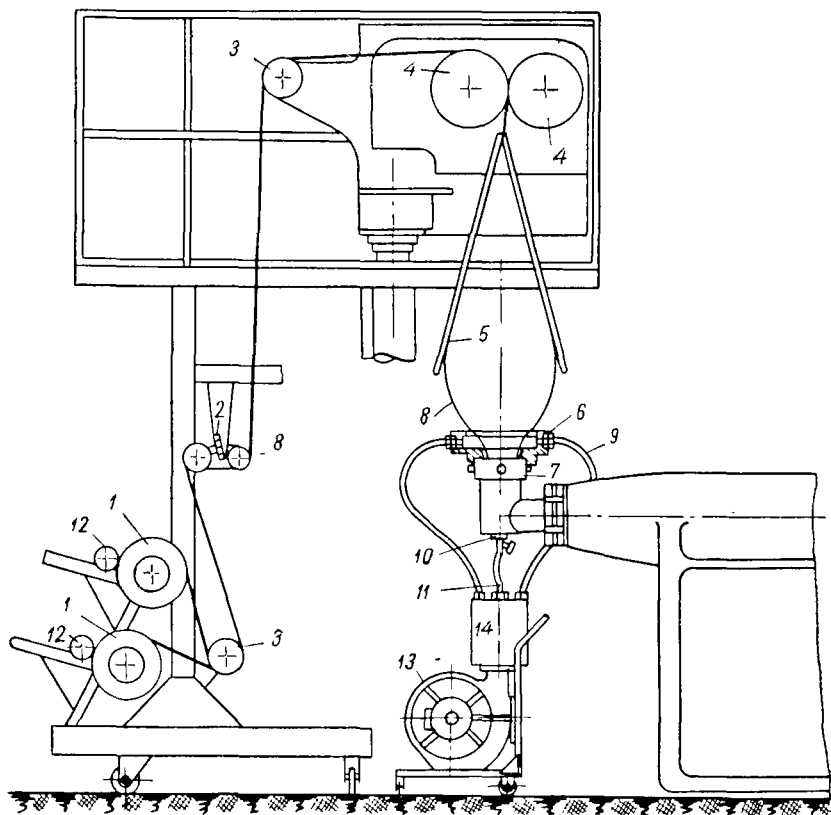


Рис. V-25. Пленочный агрегат:

1 — намоточные валки; 2 — режущее приспособление; 3 — направляющий валок; 4 — тянущие отжимные валки; 5 — направляющие (складывающие) шкивы; 6 — охлаждающее кольцо; 7 — головка червячного пресса; 8 — рукав пленки; 9 — шланг подачи охлаждающего воздуха; 10 — регулировочный вентиль; 11 — шланг подачи воздуха для раздувания рукава; 12 — втулки для намотки пленки; 13 — воздуходувка; 14 — ресивер для воздуха.

Диаметр головки может достигать 1200 мм. Установлено, что при увеличении зазора кольцевой щели увеличивается разнотолщинность пленки. Например, при степени раздувки 200% найдено:

Ширина зазора, мм	0,5	0,7	1,0
Отклонения по толщине, %	11,5	21	23

Сопротивление головки и, соответственно, давление расплава увеличением зазора, по-видимому, уменьшаются, при этом процесс

Таблица V-8

**Характеристика агрегатов для производства
тонких пленок (30—60 мк)**

Величины	Тип агрегата		
	I	II	III
Диаметр червяка, мм	63	90	160
Длина червяка, L/D	15—20	15—20	15—20
Диаметр головки, мм	200	400	800
Зазор кольцевой щели, мм	0,7	0,7	—
Длина валков приемного устройства, мм	1100	1600	3100
Скорость отвода пленки, м/мин	1—20	1—20	1—20
Ширина обрезанной пленки, мм	1000	1500	3000

выдавливанию становится менее устойчивым. Это объясняется тем, что разница в скоростях выдавливания расплава на разных участках кольцевого зазора головки растет вследствие того, что при падении давления возрастает разница в температуре и вязкости в разных точках расплава.

Зазор обычно делают равным 0,7—0,8 мм. При меньших его величинах сопротивление головки резко увеличивается.

Ниже дано описание одной из конструкций агрегата II типа (см. табл. V-8).

Червячный пресс такого агрегата снабжен червяком диаметром 90 мм и длиной 20 D . Червяк разделен на три зоны — загрузочную, сжатия и дозирующую. Степень сжатия 3,7.

Головка должна превратить поток расплава, выдавливаемого из канала червяка, в тонкостенный цилиндрический рукав. Температура и давление расплава по всему периметру формирующего зазора должны быть одинаковыми, так как иначе цилиндрический рукав и, следовательно, пленка будут иметь большие отклонения по толщине.

Конструктивно невозможно превратить монолитный поток в трубу, не подвергая его сначала рассечению, а затем слиянию отдельных струй. Следы слияния потоков — стыковые полосы — сохраняются в пленке и ухудшают ее качество. Обычно места стыков отличаются от других участков меньшей толщиной.

Существуют два принципиально различных способа направления потоков расплава в головку — сверху и сбоку.

При поступлении потока расплава в головку сверху (рис. V-26) он на пути к кольцевому зазору сначала рассекается на несколько

струй крестовиной или решеткой, а затем эти струи сливаются одна с другой.

При поступлении расплава в головку сбоку (рис. V-27) поток расплава рассекается частью дорна — распределителем — на две струи. При этом образуется труба с двумя стыками, которая выдавливается к формирующему зазору и выходит из него, сохраняя две стыковые полосы.

Наблюдения показали, что на головках с боковым питанием качество пленки лучше, чем на головках с верхним питанием.

Для того чтобы устранить дефекты потока расплава, были созданы: 1) распределители разных конструкций для более интенсивного перемешивания потока расплава на пути от входа в головку до формирующего зазора и 2) подвижные формирующие кольца, перемещением и деформацией которых можно регулировать количество расплава, выдавливаемого на разных участках полимера кольцевой щели. Однако ни одна из конструкций стационарных головок не ликвидировала полностью стыковые полосы.

Головка, изображенная на рис. V-28, присоединяется к машине с помощью перехода 1, в котором расположены решетка 2 и сетка 3 (при переработке полиэтилена устанавливают две сетки № 20 и две сетки № 50). Головка состоит из двух частей — нижнего корпуса 4 и верхнего корпуса 8. Распределение монолитного потока и придание ему формы трубы осуществляется распределителем 5. Дорн 6 вместе с кольцом 9 образует формирующий зазор. С помощью болтов кольцо перемещается и деформируется, вследствие чего уменьшается разнотолщинность пленки. Предварительная калибровка может быть произведена регулировочным кольцом 10. Внутри распределителя и дорна высверлены каналы, по которым подается воздух для пневматического рас-

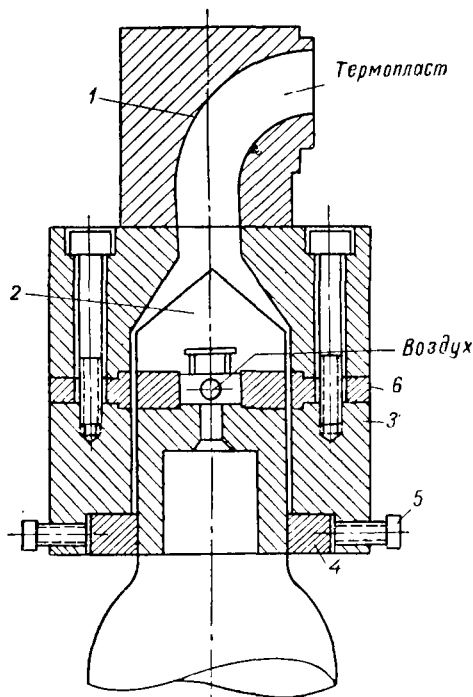


Рис. V-26. Головка с верхним питанием:

1 — труба для питания; 2 — дорн; 3 — корпус головки; 4 — формирующее кольцо; 5 — регулировочный болт; 6 — дорнодержатель.

тяжения. По вертикальному стволу головки расположены электронагреватели, сгруппированные в зоны. Перед пуском обогревается и дорн, также имеющий элемент электрообогрева. Контроль за режимом работы электрооборудования осуществляется посредством контрольно-измерительных приборов и сигнальных ламп.

В современных агрегатах в переходе устанавливают манометр для измерения давления расплава, а также термпары для измерения температуры расплава.

Устранить стыковые полосы на пленке удалось на вращающихся головках (осциллирующих).

Осциллирующая головка, изображенная на рис. V-29, состоит из трех основных частей—патронного держателя 1, промежуточного соединения 2 и формующей головки 3. Расплав из машины выдавливается в патронный держатель и через канал промежуточного соединения поступает в формующую головку. В патронном держателе помещена цилиндрическая решетка, в которой крепятся фильтрующие сетки и дроссельный клапан для регулирования противодавления в конце червяка. Распределитель формующей головки имеет спиралеобразный канал. Формующая головка 3 соединена с патронным держателем 2 при помощи промежуточного устройства, вращающего головку; оно состоит из нижнего неподвижного переходника 4, соединенного с верхним вращающимся переходником 5 гайкой 6. На переходнике 5 закреплена звездочка 7, с помощью которой он соединяется с приданным головке приводом. Плоскости сопряжения переходников имеют специальные уплотнения 8. Верхний переходник вращается в шарикоподшипниках 9.

В систему привода входит реверсная коробка с электромагнитными муфтами и концевые выключатели, с помощью которых

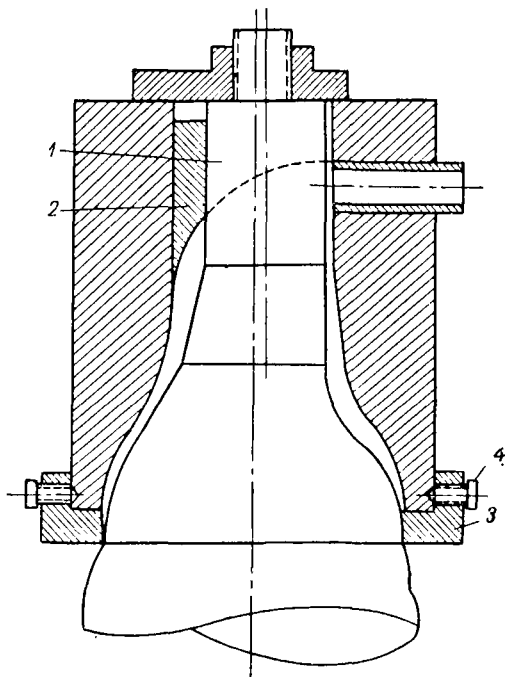


Рис. V-27. Головка с боковым питанием:

1—дорн; 2—направляющая втулка; 3—формующее кольцо; 4—регулирующий болт; 5—штуцер для входа расплава.

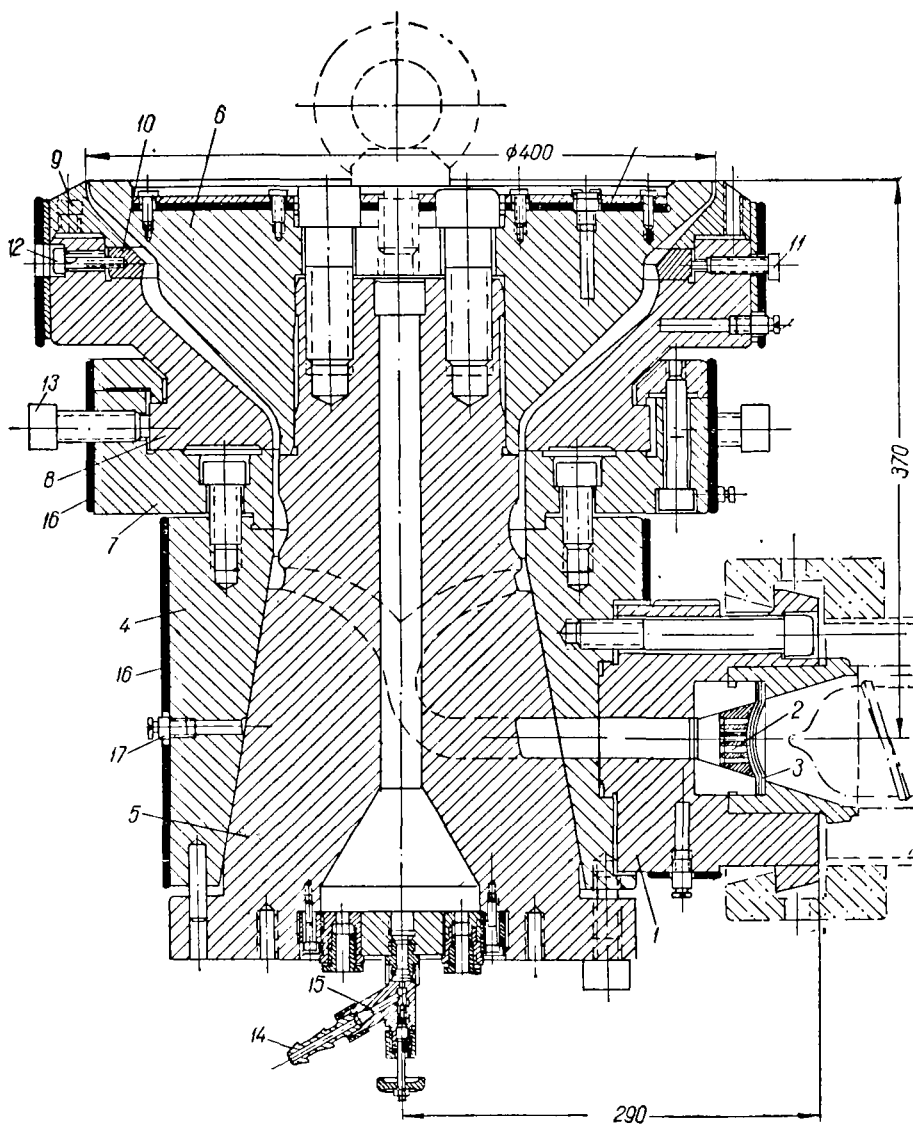


Рис. V-28. Угловая кольцевая пленочная головка:

1—переход; 2—решетка; 3—фильтрующие сетки; 4—нижний корпус головки; 5—распределитель потока; 6—дюрн; 7—фланец; 8—верхний корпус головки; 9—калибрующее кольцо; 10—регулирующее кольцо; 11—нажимной болт; 12—отжимной болт; 13—регулирующий болт; 14—штуцер для ввода воздуха; 15—регулятор воздуха; 16—электронагреватели; 17—термодары.

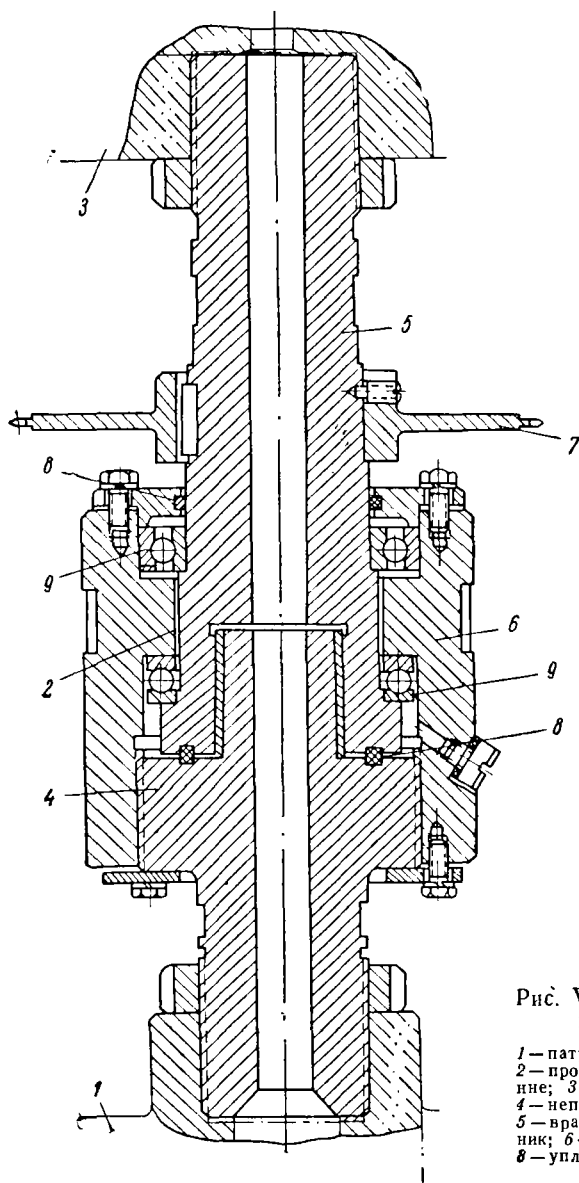


Рис. V-29. Осциллирующая головка:

- 1 — патронный держатель;
 2 — промежуточное соединение; 3 — формирующая головка;
 4 — неподвижный переходник; 5 — вращающийся переходник;
 6 — гайка; 7 — звездочка;
 8 — уплотнения; 9 — шарикоподшипники.

изменяется направление вращения головки. Угол поворота головки может изменяться от 10 до 360°. Привод обеспечивает плавное вращение головки от 0,076 до 0,58 об/мин.

На осциллирующей головке линия стыка не фиксируется в определенном положении. На выдавливаемый из головки стык непрерывно наплывают смежные струи потока, вследствие чего в пленке исчезает стыковая полоса.

Для производства пленок разработаны также вертикальные осциллирующие машины. Подробных сведений об эксплуатации таких машин еще нет.

Охлаждение рукава. Сразу же после выхода из головки рукав принудительно охлаждается потоком воздуха, нагнетаемым воздуходувкой через наружное кольцо. За зоной принудительного охлаждения на пути к тянущим вытяжным валкам рукав продолжает охлаждаться естественно омывающим его воздухом.

Охлаждающее кольцо укрепляют над головкой. Воздух поступает в него по 12 подводящим шлангам через воздушно-компенсационный резервуар из воздуходувки, а затем через круговую щель под углом 45° направляется на рукав пленки. Воздуходувка имеет производительность 8 м³/мин и развивает напор 190—220 мм. вод. ст.

Приемное устройство состоит из следующих узлов: 1) складывающих щек; 2) тянущих отжимных валков с приводом; 3) приспособления для обрезки кромок; 4) разглаживающего изогнутого «горбатого» валика и 5) намоточных приспособлений.

Основанием приемного устройства служит сварная рама, установленная на домкратах. При опускании рамы домкратами она становится на ролики и может быть отвезена от машины. В середине рамы расположены площадки с барьером для обслуживающего персонала. На пульте приемного устройства расположены амперметр двигателя тянущих отжимных валков, регулятор намоточного устройства, кнопка регулирования скорости вращения тянущих валков и пусковые кнопки двигателей тянущих и намоточных валков.

Складывающие щеки представляют собой две шарнирно соединенные рамы. На внутренних сторонах рам укреплен бархат. Щеки можно устанавливать под нужным углом, что позволяет складывать рукав в двойное полотно без складок, и на минимальном расстоянии от тянущих отжимных валков. При этом расстояние между головкой и тянущими отжимными валками $\geq 1,5$ м.

Тянущее отжимное приспособление состоит из двух валков: один из них металлический, другой гуммированный. Стальной валок имеет привод с вариатором. Его окружную скорость можно менять в пределах 2—20 м/мин. Гуммированный валок расположен в подвижных подшипниках и может передвигаться. Расстояние между валками достигает 30 мм. При их сближении рукав

плотно зажимается, и воздух, содержащийся в рукаве, сохраняет свой объем.

Плоские ножи для обрезки кромок укреплены на специальных кронштейнах и расположены с двух сторон между двумя опорными валками. Кромки непрерывно наматываются на катушки, вращающиеся от привода тянущих валков.

Рукав после обрезки образует два плоских полотна, которые затем подают на намотку. Во избежание образования складок в рулоне полотно перед намоткой разглаживается специальным изогнутым валиком (рис. V-30), представляющим собой стальную

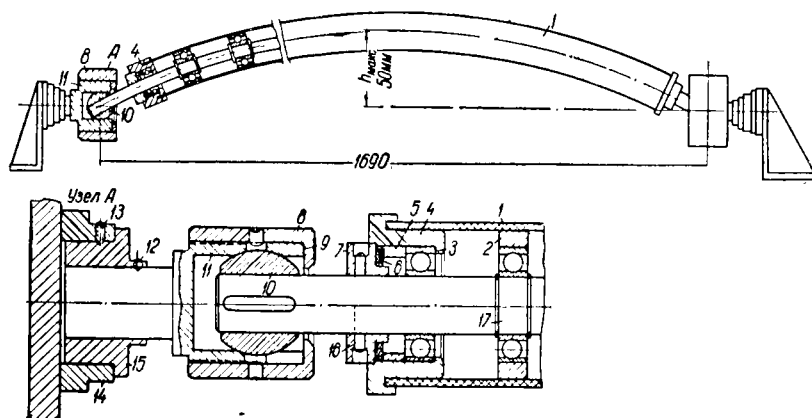


Рис. V-30. Изогнутый распрямляющий валик приемного устройства для пленки:

1 — труба; 2, 7 — кольца; 3 — подшипник; 4 — ступица; 5, 9 — втулки; 6 — прокладка; 8 — гайка; 10 — шаровая опора; 11 — цапфа; 12, 13 — стопорные винты; 14 — фланец; 15 — втулка; 16 — штифт; 17 — стальной изогнутый валик.

изогнутую трубу, на которой укреплены шарикоподшипники с кольцами. На этот каркас натягивается резиновая трубка. Валику может быть придан перекус в нужном направлении, вследствие чего обеспечивается распрямление пленки и правильная намотка.

Намотка пленки осуществляется за счет фрикции рулона с пленкой о намоточный валок. Намоточное устройство состоит из двух одинаковых узлов, в которые входят намоточный валок с приводом, наклонная зубчатая рейка и втулка. Вал втулки находится в зубчатом зацеплении с наклонной рейкой. При вращении намоточного вала вращается также втулка с наматываемой на нее пленкой.

Диаметр рулона $\sim 300\text{--}400$ мм. Пленка должна наматываться при температуре $\leq 60^\circ\text{C}$. При более высоких температурах она может слипаться в рулоне.

Управление
процессом

Перед началом работы нагревают цилиндр машины и головку. По достижении заданных температур нагрев длится еще 30 мин при незагруженной машине и 2 ч, если машина была заполнена материалом. После этого включают двигатель, вращающий червяк. В момент пуска машины число оборотов червяка должно быть минимальным. Цилиндрический рукав, выдавливаемый из головки, центрируют калибрующими болтами таким образом, чтобы скорость потока расплава по всему периметру головки была примерно одинаковой и не происходил бы односторонний изгиб рукава. При достижении соосности рукава с головкой его принимают в зазор раздвинутых тянущих отжимных валков. При отсутствии на рукаве складок валки постепенно сводят. Скорость вращения тянущих отжимных валков регулируют в зависимости от толщины выпускаемой пленки. Например, линейная скорость отвода рукава при толщине пленки 40 мк составляет 10 м/мин, а при 60 мк — 5 м/мин. Соотношение между скоростью отвода рукава и скоростью его выдавливания из головки оказывает существенное влияние на физико-механические свойства пленки, так как этим соотношением определяется степень продольной вытяжки пленки и, следовательно, ее ориентация.

Скорость выдавливания для полиэтилена определяется следующим уравнением:

$$v_b = \frac{1000Q}{60 \cdot 0,81\pi D_k t}$$

где Q — производительность червячного пресса, кг/ч;
 $0,81 \text{ г/см}^3$ — плотность расплава полиэтилена при 140°C ;
 D_k — диаметр кольцевого зазора, см;
 t — зазор щели в головке, см.

Физико-механические свойства пленки зависят не только от свойств исходного полимера, но и от температурного режима и степени вытяжки. При понижении температуры возрастает предел прочности при растяжении.

Долевая вытяжка оказывает существенное влияние на свойства пленки. Разница в свойствах пленки в долевом и поперечном направлениях зависит от отношения вытяжки к раздувке. Для того чтобы пленка имела одинаковые свойства в обоих направлениях, при раздувке в три раза нужно вытянуть пленку на 300%. Обычно вытяжка превышает степень раздувки.

После защемления рукава в тянущих отжимных валках в него постепенно нагнетают воздух давлением $p_{\text{воз}} = 100\text{—}200 \text{ мм вод. ст.}$ Подачу воздуха регулируют таким образом, чтобы диаметр рукава в его цилиндрической части был постоянным. Существуют пневматические устройства, регулирующие давление воздуха в рукаве.

Степень раздувки •

$$\epsilon_p = \frac{D_p}{D_k} 100$$

(где D_p — диаметр раздутого рукава, см) оказывает значительное влияние на равномерность пленки по толщине, особенно в поперечном направлении (табл. V-9). Поэтому ϵ_p не должна превышать 250%, т. е. диаметр рукава не должен быть больше диаметра формующего зазора в 2,5 раза. Следовательно, для получения пленки шириной 1,5 м на головке диаметром 400 мм диаметр рукава должен быть равен 1000 мм.

Таблица V-9

Зависимость равномерности пленки по толщине от степени раздувки

Степень раздувки, %	Средняя толщина, мк	Отклонения по толщине, %		
		общие	поперек	вдоль
150	57	12	10,5	9
250	43	16	16	10
350	44	32	32	—

Степень раздувки влияет и на механические свойства пленки: с ее увеличением повышается прочность на разрыв в поперечном направлении и несколько уменьшается относительное удлинение.

Одновременно с началом раздувки рукава подают воздух в охлаждающее кольцо, установленное над головкой. Увеличение диаметра цилиндрического рукава при растяжении должно начинаться сразу после выхода из головки; нельзя допускать, чтобы растяжение начиналось близко или на значительном расстоянии от головки.

Конфигурация рукава в зоне раздувания приведена на рис. V-31.

На некотором расстоянии от головки пленка мутнеет. Это свидетельствует о том, что на данном участке начинается кристаллизация.

Линия кристаллизации является границей, отделяющей аморфный полимер от полимера, в котором начались процессы кристаллизации. За пределами линии кристаллизации раздувания больше не происходит. Расстояние от головки до линии кристаллизации зависит от температуры расплава, толщины пленки, скорости приемки и температуры окружающего воздуха.

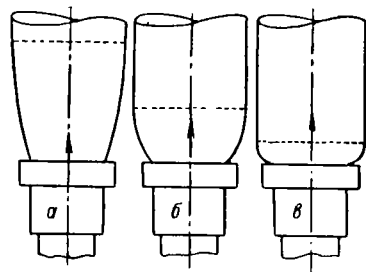


Рис. V-31. Конфигурация рукава в зоне раздувания:

а — вытянутая; б — нормальная; в — сильно раздутая.

Волнистый характер линии кристаллизации указывает на неравномерную температуру расплава по периметру рукава.

От сложенного рукава отрезают перед намоточным устройством образец и замеряют его толщину. Если средняя толщина пленки отличается от заданной в сторону уменьшения, повышают число оборотов червяка или уменьшают скорость оттяжки; если она больше заданной толщины, то повышают число оборотов тянущих отжимных валков, а в случае необходимости снижают число оборотов червяка.

После получения пленки со средним значением толщины (отвечающим заданным требованиям), имеющей, однако, отклонения по этой толщине на отдельных участках, приступают к калиброванию, которое производят деформацией регулировочного и калибровочного колец головки, а также регулированием потоков охлаждающего воздуха по периметру охлаждающего кольца. При хорошей оснастке и опытным обслуживающим персонале разнотолщинность выпускаемой пленки не превышает $\pm 10\%$.

Толщина пленки может контролироваться непрерывно толщиномером в процессе производства. Перспективным является применение радиоактивного толщиномера. Измерение толщины пленки с помощью радиоактивных изотопов базируется на падении интенсивности β -излучения при прохождении через пленку.

Технологический процесс производства пленки из полиэтилена низкой плотности

Для производства пленки применяется полиэтилен со следующими показателями:

Индекс расплава, г/10 мин . . .	2—7
Предел прочности при растяжении, кгс/см ²	≥ 110
Относительное удлинение, %	≥ 500
Внешний вид	гранулы однородные по размерам, натурального цвета или окрашенные
Однородность	индекс расплава пробы, взятой из любого места партии, не должен отличаться от показателей средней пробы больше чем на $\pm 15\%$

Обычно для получения высококачественных пленок технического назначения применяют полиэтилен с индексом расплава 2 г/10 мин. Температурный режим (в °С) процесса производства пленок толщиной 40—60 мк на машине с диаметром червяка

90 мм и головке с диаметром кольцевого зазора 400 мм и шириной щели 0,7 мм:

Цилиндр:		Головка:	
1 зона	120±2	1 зона	142±2
2 »	128±2	2 »	142±2
3 »	138±2	3 »	144±4
4 »	142±2	4 »	160±5
Переход	142±2		
Вода, выходящая из червяка			25±1
» » » зоны загрузки			30±2

Пленки отводятся со скоростью (в м/мин):

Толщина 40 мк	8
» 60 »	5

Производительность агрегата при выпуске пленки толщиной 40—60 мк составляет ~55 кг/ч; количество отходов — до 10%.

Готовая пленка должна отвечать следующим техническим требованиям:

Внешний вид натурального цвета или окрашенная, блеск, прозрачность и видимые включения частиц полиэтилена («гелики») в соответствии с эталоном

Предел прочности при растяжении в долевом и поперечном направлениях, кгс/см ²	≥ 100
Относительное удлинение в долевом и поперечном направлениях, %	≥ 300
Разнотолщинность (отклонения от заданной толщины), %	≤ ±10

Разнотолщинность является функцией теплового режима процесса, условий формования, ширины кольцевого зазора в головке, степени раздувки, скорости выдувания и охлаждения рукава. При разнотолщинности, превышающей установленные нормы, кроме калибрования головки и регулирования распределения воздуха в охлаждающем кольце, целесообразно понизить температуру в цилиндре и головке. Известно, что с понижением температуры процесса разнотолщинность уменьшается.

При производстве пленки могут появляться отклонения от установленных норм по блеску, прозрачности и «геликам». Эти показатели зависят как от качества исходного полимера, так и от условий проведения процесса.

Оптические свойства пленки (блеск и прозрачность) находятся в зависимости от состояния поверхности пленки и ее надмолекулярной структуры. Качество поверхности пленки зависит, в первую очередь, от качества расплава, образовавшегося в машине. Расплав должен быть однороден и не должен содержать никаких структурных элементов, видимых визуально: поверхность его

должна быть гладкой. В меньшей степени на состоянии поверхности пленки сказывается резкое охлаждение, которое может привести к образованию морщин. Прозрачность пленки зависит от надмолекулярной структуры, в частности от содержания и строения кристаллической фазы, а также равномерности ориентации. При образовании мелких кристаллов увеличивается рассеивание света и, следовательно, снижается прозрачность. Известно, что содержание кристаллической фазы в пленке и ее структура в большой степени зависят от условий охлаждения пленки. Неоднородная ориентация, являющаяся следствием неоднородности расплава по вязкости, тоже ухудшает прозрачность. Следовательно, на оптические свойства пленки влияют не только качество исходного полимера, но и технологические факторы, к которым относятся температура расплава и скорость охлаждения пленки. Так, с увеличением температуры прозрачность пленки повышается, а с уменьшением скорости охлаждения — понижается. При уменьшении степени раздувания и вытяжки прозрачность пленки тоже уменьшается. Бугристость поверхности пленки зависит от качества расплава и скорости выдавливания. Как полагают некоторые исследователи, дефекты поверхности особенно резко проявляются при критической скорости сдвига.

Наличие в полиэтилене смеси гранул, отличающихся по индексу расплава, приводит к тому, что образуется неоднородный расплав, характеризующийся наличием видимых включений не-проплавленных частиц полиэтилена — «геликов».

Для уменьшения количества включений должны быть приняты меры, целью которых является увеличение давления расплава; при этом повышается превращение механической работы в теплоту и возрастает эффективность перемешивания. Такой эффект достигается в первую очередь понижением температуры формирующей части головки, а затем — температур выходящей из червяка воды, цилиндра и головки. Если принятые меры не повысят качества пленки, то нужно установкой дополнительных сеток или уменьшением зазора между концом червяка и сопряженной с ним деталью перехода к головке увеличить сопротивление потоку.

Пневматическим растяжением цилиндрического рукава получают также пленки из пластифицированного поливинилхлорида, полиэтилена высокой плотности и полипропилена.

Плоские пленки

На плоских головках получают преимущественно пленки из кристаллических полимеров — полиэтилена высокой плотности, полипропилена и т. д., отличающихся низкой вязкостью расплава при высоких температурах. Эти пленки обладают сильным блеском, хорошей прозрачностью, жестки, прочны и влагонепроницаемы.

Объем производства плоских пленок значительно уступает производству цилиндрических пленок методом пневматического растя-

жения. Однако проводимые исследовательские работы могут способствовать расширению области применения таких пленок и частичной замене ими пленок из полиэтилена низкой плотности.

Существует два метода производства плоских пленок: в одном горячее полотно направляется на холодные валки, в другом пленка охлаждается водой в ванне.

При охлаждении пленки на валках может быть использовано приемное устройство, изображенное на рис. V-32.

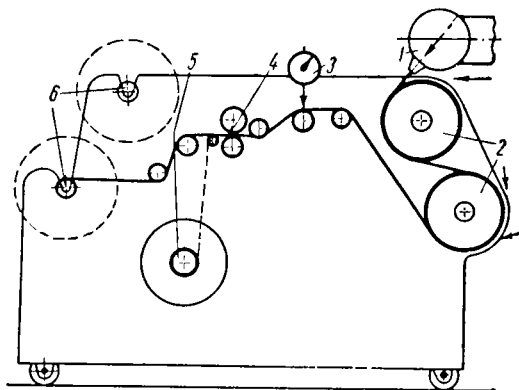


Рис. V-32. Приемное устройство:

1 — шелевая (плоская) головка; 2 — охлаждаемые валки; 3 — толщиномер; 4 — рамка с дисковыми ножами; 5 — барабан для намотки кромок; 6 — барабан для намотки товарной пленки.

При охлаждении в воде получают пленки с сильным блеском и большой жесткостью; при охлаждении на валках пленки отличаются равномерностью физико-механических свойств. Мутность пленки, охлажденной на валках, равна 15%, охлажденной в воде — 4%.

Процесс производства пленок состоит из следующих операций: 1) образования расплава из твердого полимера; 2) формования из расплава плоского полотна; 3) охлаждения полотна; 4) обрезки кромок полотна; 5) намотки полотна.

Эти операции выполняются на агрегате, изображенном на рис. V-33.

Червячные прессы, используемые в процессе, ничем не отличаются от машин, работающих в агрегате для производства цилиндрических пленок.

По всей длине щелевой головки (рис. V-34) проходит распределительный канал, в середину которого поступает расплав из червячного прессы. На выходной щели головки укреплены губки, одна из них подвижная. С помощью вытяжных и натяжных болтов губка перемещается, регулируя при этом величину щели на всей

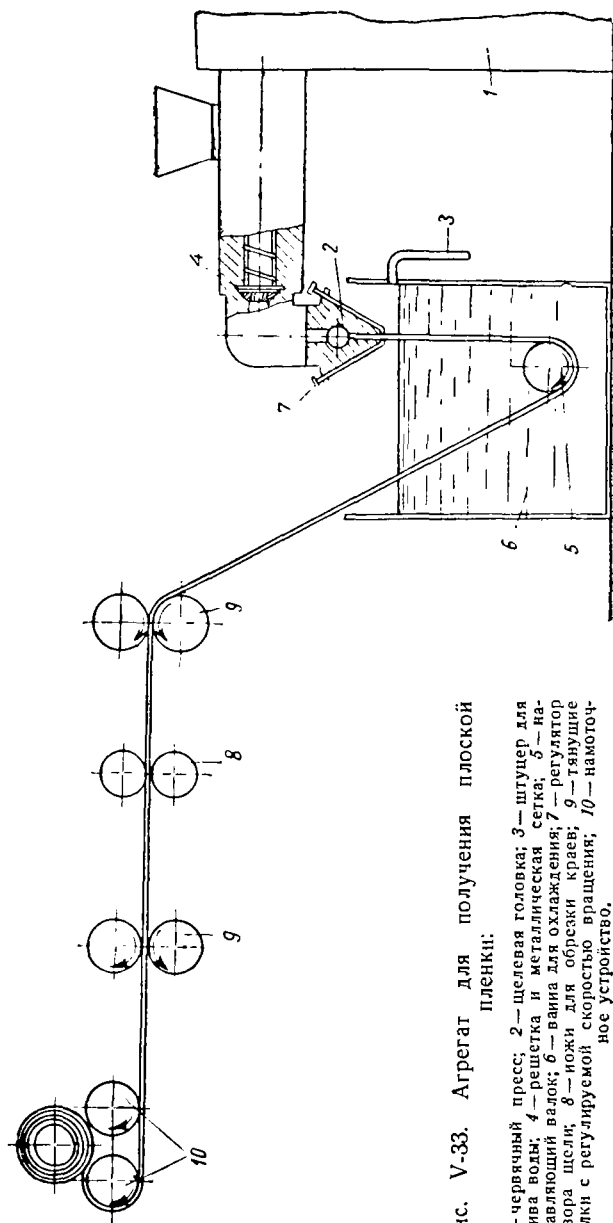


Рис. V-33. Агрегат для получения плоской пленки:

1 — червячный пресс; 2 — щелевая головка; 3 — штуцер для слива воды; 4 — решетка и металлическая сетка; 5 — направляющий валок; 6 — валик для охлаждения; 7 — регулятор зазора щели; 8 — ионизатор для обрезки краев; 9 — тянущие валки с регулируемой скоростью вращения; 10 — намоточное устройство.

длине или на отдельных ее участках. Установленные электронагреватели сгруппированы в самостоятельные зоны. Калибрование толщины пленки производится губками и соответствующим температурным режимом отдельных зон нагрева. Известны головки, имеющие такое же внутреннее устройство, но прямоугольного сечения; они более массивны, поэтому меньше деформируются.

Головки с распределительными планками (см. стр. 197) тоже могут быть использованы в производстве пленок, но они сложны и поэтому в данном случае их почти не применяют.

На качество пленок оказывает влияние расстояние от губок до поверхности воды. Установлено, что оно должно быть минимальным и не должно превышать 6 мм.

При охлаждении пленки в воде очень большое значение имеет постоянство температуры воды и отсутствие колебаний на ее поверхности. Выполнение этих требований обеспечивается специальной циркуляционной установкой с угольным фильтром, подающей воду через разбрызгиватели. На этих агрегатах можно получать пленки шириной до 2 м и толщиной > 12 мк, коэффициент вытяжки может изменяться от 20 до 40.

Режим производства плоской пленки из полиэтилена высокой плотности:

Температура, °C:

цилиндра машины:

1-я зона	230 ± 10
2-я »	260 ± 10
3-я »	270 ± 10 *
перехода	270 ± 10 *
головки	270 ± 10 *
воды в ванне	70
Ширина щели между губками, мм	0,5
Скорость приемки, м/мин	60

* Для полипропилена: $290 \pm 10^\circ \text{C}$.

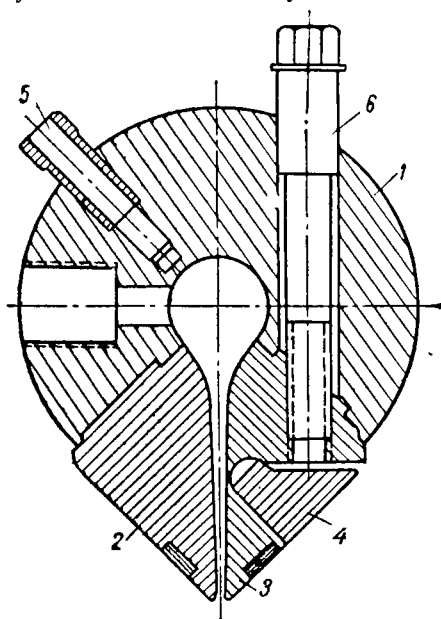


Рис. V-34. Щелевая головка для получения плоских пленок:

1 — корпус головки; 2 — неподвижная губка; 3 — подвижная губка; 4 — промежуточная призма; 5 — карман для термопары; 6 — регулировочный болт.

**Ориентирование
пленки**

При растяжении пленок происходит ориентация молекулярных цепей, вследствие чего повышаются морозостойкость и механические свойства пленок, а также предел прочности при растяжении.

Ориентировать пленки можно в одном и двух направлениях. Чтобы ориентировать пленки из кристаллических полимеров, их нужно нагревать до температуры, при которой разрушается кристаллическое строение. Аморфные пленки вытягиваются при температурах высокоэластического состояния полимера.

После ориентации пленки в растянутом состоянии прогревают. Эта операция (закалка) уменьшает тепловую усадку.

Ориентация пленок в двух направлениях производится в две ступени: пленки нагреваются и вытягиваются в продольном направлении, затем производится вторичный нагрев и поперечная вытяжка. Температура на обоих ступенях должна регулироваться самостоятельно. При растяжении пленок в поперечном направлении температура несколько выше, чем при ориентации в долевом направлении.

Продольная ориентация пленок осуществляется двумя группами валков: первая группа валков обогревается, вторая охлаждается; каждая группа имеет индивидуальный привод. Окружная скорость валков второй группы выше, чем первой. В каждой группе имеются прижимные гуммированные ролики.

Установка для поперечной ориентации состоит из камеры, механизма захвата пленки с индивидуальным приводом и системы обогрева. Камера разделена по длине на несколько зон: предварительного нагрева пленки (4 м), ориентации (4 м), закалки (2 м), охлаждения (2 м), и обогревается воздухом. Температура по зонам регулируется в пределах 90—240°С.

Механизм захвата пленки состоит из двух бесконечных цепей, несущих зажимы. В зонах предварительного нагрева, закалки и охлаждения цепи движутся параллельно. В зоне ориентации они расходятся и пленка растягивается в поперечном направлении. Скорость всех узлов синхронизирована. Ширина пленки на входе в зону ориентации может изменяться от 200 до 1800 мм. Максимальная скорость равна 60 м/мин. Полипропиленовые пленки обычно вытягиваются вдоль на 650, поперек — на 750%.

**Покрытие бумаги
полимерными
пленками**

При покрытии бумаги полимерными пленками она приобретает влагозащитные свойства. Процесс состоит из получения плоской полимерной пленки и спрессовывания ее в горячем состоянии с бумагой.

Получение плоской полимерной пленки производится на червячном прессе с щелевой головкой, которая присоединяется к машине одним из торцов. В этом положении головки бумага и

пленка перемещаются параллельно. Спрессовывание горячей пленки, имеющей температуру $>200^{\circ}\text{C}$, с бумагой осуществляется в зазоре между стальным и гуммированным валками. Гуммированный валок создает давление, достаточное для спрессовывания пленки с бумагой. Стальной валок необходимо охлаждать. С целью увеличения адгезии пленки к бумаге, последнюю перед поступлением в зазор валков прогревают.

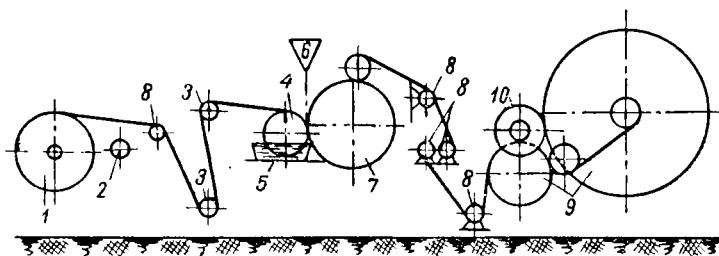


Рис. V-35. Агрегат для нанесения полимерных пленок на бумагу:

1 — рулон с бумагой (размотка); 2 — вал для рулона № 2; 3 — сушильный валок (обогрев паром 13 кгс/см^2 , 170°C); 4 — валок, облицованный силиконовой резиной; 5 — ванна с водой для охлаждения; 6 — щелевая головка червячного пресса; 7 — главный валок (полированный, охлажденный водой); 8 — направляющий валок; 9 — узел намотки; 10 — подающий валок.

Агрегат для нанесения пленки на бумагу изображен на рис. V-35. Нормальная скорость нанесения покрытия достигает 120 м/мин .

ПРОИЗВОДСТВО ЛИСТОВ

Полимерные материалы разной толщины в виде жестких листов выпускаются из ударопрочных полистиролов, поливинилхлорида твердого (винипласта) и полиэтилена. Мягкое полотно в рулонах получают из пластифицированных композиций поливинилхлорида и поливинилбутирала. Листовые материалы можно изготавливать разными методами, но наиболее совершенный из них — выдавливание червячными прессами. Агрегаты для производства перечисленных материалов не отличаются между собой в основных звеньях, кроме последнего (в системе приемки), где жесткие материалы режутся ножами на листы, а мягкие наматываются на бобины.

Листовальный агрегат

Основные операции процесса выполняются следующими узлами листовального агрегата (рис. V-36):

- 1) превращение твердого полимера в расплав осуществляется червячным прессом;
- 2) формование полотна производится плоской щелевой головкой;

3) разглаживание и первичное охлаждение полотна осуществляется трехвалковым гладильным устройством;

4) оттяжка полотна производится гладильным устройством и тянущими валками;

5) охлаждение полотна начинается на валках гладильного устройства и завершается на ролянгах;

6) кромки обрезаются дисковыми ножами;

7) поперечная резка полотна осуществляется ударными ножницами с автоматическим управлением;

8) укладка листов производится штабелером.

В случае изготовления мягкого материала выключаются ножницы и включается намоточное устройство. Работа всех узлов агрегата синхронизирована.

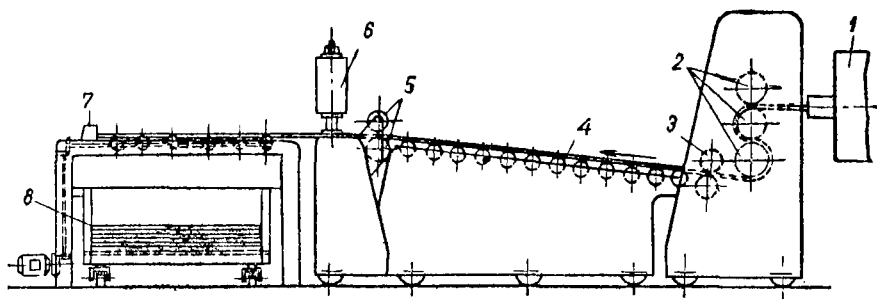


Рис. V-36. Листовальный агрегат непрерывного действия:

1 — червячный пресс с шелевой головкой; 2 — гладильное устройство; 3 — ножи для обрезки кромок; 4 — направляющие валки; 5 — тянущие валки; 6 — режущее приспособление; 7 — перемещаемый упор для отключения режущего приспособления; 8 — штабелер.

Широко используется агрегат, имеющий в своем составе червячный пресс с червяком диаметром 150 мм, шелевые головки шириной 800 и 1400—1600 мм, трехвалковое гладильное устройство с длиной валков 1500—1600 мм и диаметром 200—250 мм.

Червячный пресс. Диаметр червяка 150 мм, длина 15—20 D . Число оборотов червяка бесступенчато регулируется в пределах от 12 до 44 об/мин.

Головка (рис. V-37). Корпус состоит из двух половин прямоугольного сечения. В середине головки расположен штуцер с фланцем, посредством которого головка присоединяется к цилиндру машины. Между каналом, в который поступает расплав, и губками головки расположена призматическая упругая планка, выполняющая функцию распределителя потока. При помощи болтов эта планка может перемещаться по высоте и изгибаться на отдельных участках. Ее положением можно регулировать величину зазора как по всей ширине головки, так и на отдельных участках. Изве-

стно, что при выдавливании расплава из щели скорость потока в середине больше, чем по краям. Предварительное регулирование скоростей потока по ширине щели производится при помощи этой планки.

За призматической упругой планкой на головке расположены две губки. Одна из них неподвижна, другая может перемещаться

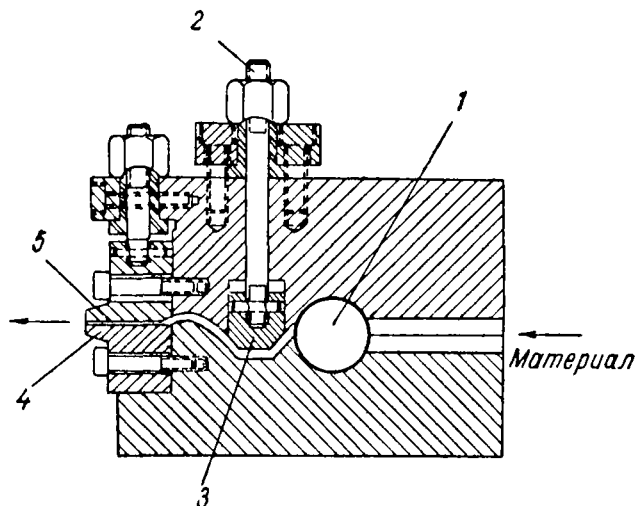


Рис. V-37. Щелевая головка обычного типа, применяемая для производства листов из полиэтилена и полистирола:

1 — распределительный канал; 2 — регулировочный винт; 3 — упругий элемент дросселя; 4 — неподвижная губка формирующей щели; 5 — регулируемая губка формирующей щели.

при помощи вытяжных и нажимных болтов, что позволяет изменять ширину щели по всей длине головки. Деформацией губки на отдельных участках ведут тонкую регулировку толщины листа.

В головке смонтированы пальчиковые нагреватели, сгруппированные в отдельные зоны. Температура каждой из них регулируется отдельным прибором автоматического управления. Количество зон обогрева зависит от ширины головки. Например, на головке шириной 800 мм нагреватели сгруппированы в четыре зоны. Изменением температур зон также можно регулировать скорость потока расплава на разных участках по ширине головки. Во избежание неравномерного нагрева головки боковые ее поверхности тоже должны нагреваться.

Чаще всего применяют головки шириной 800 и 1400—1600 мм.

Для производства листов из таких термочувствительных материалов, как винипласт, известны головки, в которых застой потока исключается вследствие распределения его двумя червяками, расположенными в головке и вращающимися от самостоятельного привода.

Гладильное устройство представляет собой станину с двумя стойками, на которых вертикально смонтированы три валка. Верхний и нижний из них расположены в подвижных подшипниках. Поэтому зазоры между валками могут изменяться. Средний валок имеет самостоятельный привод, позволяющий изменять скорость вращения от 0,2 до 8 м/мин.

Кроме гладильных валков, на стойках установлены дисковые ножи, которыми на опорном валке обрезаются края полотна.

Валки изготовляют полиыми. Они могут нагреваться или охлаждаться. Обогрев их производится маслом. Каждый валок снабжен отдельной циркуляционной системой, состоящей из теплообменника с электроподогревателем, насоса, расширительного бачка и сборника. Температура теплоносителя регулируется прибором автоматического управления. Горячее полотно, выдавленное из головки, проходит между верхним и средним валками, затем между средним и нижним и направляется на рольганг.

Гладильные валки оттягивают полотно и одновременно могут его полировать. Полотно плотно обхватывает средний валок, при этом оно полируется его поверхностью. Конструкция гладильного устройства отличается от обычного каландра легкостью, так как для обхвата и прижима горячего полотна к поверхности валка не нужны большие усилия. Полировка горячего полотна происходит при удельном давлении $\sim 1 \text{ кгс/см}^2$.

От гладильных до тянущих валков полотно транспортируется на полированных роликах рольгангов.

Рольганги представляют собой рамы из сортового железа, в которых укреплены вращающиеся ролики. При движении по ним полотно охлаждается.

Тянущие валки. Один из валков хромирован, другой гуммирован. Зазор между ними регулируется в пределах от 0 до 40 мм. Вращение осуществляется от привода гладильного устройства через вариатор, поэтому скорость вращения тянущих валков регулируется и синхронна скорости вращения гладильных валков.

Резательное устройство состоит из стола, ножа и привода. Нож работает автоматически. Разрезание полотна на отдельные листы осуществляют во время его движения. В момент отрезания листа скорости движения ножа и полотна совпадают. Движение ножа осуществляется от привода гладильных валков. Возврат ножа происходит при помощи двух спиральных пружин, натягиваемых при резке.

**Технологический
процесс
производства листов
из ударопрочных
полистиролов**

Перед началом работы нагревают цилиндр и головку червячного пресса до заданных температур. Одновременно нагревают теплоноситель циркуляционных систем гладильных валков.

Гранулы полимера загружают в бункер-питатель машины и включают на минимальное число оборотов двигатель червяка.

Полотно, выдавленное из головки, заправляют в гладильные валки. Вначале зазор между валками должен быть максимальным, затем сводят гладильные и тянущие валки и замеряют толщину полотна. Изменением числа оборотов червяка, гладильных и тянущих валков регулируют толщину полотна. Если средняя толщина близка к заданной, но в отдельных точках отклоняется более чем на 10%, начинают калибрование — предварительно с помощью призматической упругой планки, а затем губками и изменением температурного режима отдельных зон головки.

Одна из разновидностей ударопрочного полистирола (СНП), пригодная для переработки в листы, состоит из сополимера стирола и нитрилакриловой кислоты (80:20), модифицированного 10% нитрильного каучука (СКН-26); другая его разновидность представляет собой блок-полимер полистирола и бутадиенстирольного каучука.

Температурный режим процесса производства листов толщиной 2 мм приведен в табл. V-10.

Таблица V-10

**Температурный режим процесса производства
листов толщиной 2 мм**

Объект	Температура (в °С) при производстве листов из	
	сополимера, модифицированного каучуком (СНП)	блок-полимера, модифицированного каучуком
Цилиндр червячного пресса:		
1-я зона	145±5	145±5
2-я »	155±5	145±5
3-я »	175±5	145±5
4-я »	185±5	155±5
Переход	185±5	155±5
Червяк (температура выходящей воды) .	25±5	20±2
Головка (все зоны) .	200±20	165±5
Гладильные валки:		
верхний	85±5	75±5
средний	155±5	105±10
нижний	70±10	75±5

Температуры в цилиндре червячного пресса зависят от свойств исходного материала.

Зазор щели на головке устанавливается в пределах от 1,9 до 2 мм. В зависимости от скорости вращения гладильных валков возможны следующие режимы работы:

1) окружная скорость на поверхности валков слишком велика; полотно, выходящее из головки, растягивается, что приводит к значительной усадке листов;

2) окружная скорость на поверхности валков слишком мала; перед входом в зазор между валками образуется валик, из которого формируется лист, при этом резко возрастают нагрузки на валки, что может привести к их повреждению; усадка и коробление таких листов при нагреве велики;

3) окружная скорость на поверхности валков равна скорости выдавливания из головки; усадка таких листов при нагреве незначительна, поэтому режим является оптимальным.

В связи с тем, что толщина полотна, выдавливаемого из головки, вследствие эластического восстановления расплава и деформации губок на 10—20% выше установленного зазора губок, окружная скорость вращения гладильных валков должна быть, соответственно, выше скорости выдавливания полотна.

Скорость движения полотна шириной 0,75 м на рольгангах составляет 0,75—0,9 м/мин.

Приведенный температурный режим обеспечивает полировку одной стороны листов на гладильных валках. Полотно полируется на среднем валке, на нижнем охлаждается. Во время работы зазор между верхним и средним валками должен быть минимальным. На качество полировки листов оказывает влияние состояние поверхности металлических валков. Полировка может быть улучшена при дополнительном нагреве полируемой поверхности специальным электронагревателем, расположенным между головкой и гладильным валком на некоторой высоте от полотна.

В процессе производства листов на них могут появляться некоторые дефекты. При смене партии материала, отличающегося своей текучестью от предшествующего, толщина полотна в отдельных участках может отклоняться от допустимых норм. В этом случае производят перекалибровку полотна регулированием губок и температур зон головки.

Отклонения по цвету и наличие посторонних включений в основном обусловлены неудовлетворительным качеством исходного материала. При потемнении материала необходимо понизить температуры в цилиндре и головке, а также сократить время пребывания материала в машине путем повышения температуры воды, выходящей из червяка (при этом увеличивается производительность червяка), или увеличения числа оборотов червяка.

Шероховатость всей поверхности можно уменьшить понижением температуры воды, выходящей из червяка (при этом уменьшается рабочая глубина червяка), что и приводит к улучшению однородности расплава и повышению его температуры.

Для производства листов применяют гранулированный поливинилхлорид. Гранулы получают из разных композиций; одна из них содержит примерно на 100 частей поливинилхлоридной смолы 2—2,5 части свинцовых стабилизаторов, 2—3 части солей стеариновой кислоты и 3—4 части смазывающих веществ (стеарин, трансформаторное масло, парафин). Рекомендуется поливинилхлоридная смола с числом Фикенчера $K=65$.

Вследствие высокой термочувствительности поливинилхлорида при его переработке недопустимы перегревы. Кроме того, необходимо отсутствие застойных зон на всем пути расплава до выхода из щели.

Температурный режим (в °C) процесса производства винипластовых листов толщиной 2—4 мм на головке шириной 1400 мм с призматической упругой планкой:

Цилиндр:

1-я зона	185±5
2-я »	190±5
3-я »	190±5
4-я »	200±5

Переход 215±5

Головка:

середина	200±10
края	210±10

Гладильные валки:

верхний	125±5
средний	130±5
нижний	120±5

Степень вытяжки должна быть небольшой. В этих условиях получают винипласт с незначительной усадкой. Свойства таких листов при вытяжке в долевом и поперечном направлениях отличаются мало.

Выдавливанием на червячных прессах могут быть получены листы и из ударопрочного винипласта, представляющего собой смесь поливинилхлоридной смолы и хлорированного полиэтилена. Из ударопрочного винипласта выпускают гофрированные листы, которые применяются в качестве кровельного материала.

Технологический процесс производства листового полиэтилена

Характеристика полиэтилена, используемого для производства листового материала, приведена в табл. V-11 (гранулы, однородные по размерам).

Температурный режим процесса дан в табл. V-12.

Таблица V-11

Характеристика полиэтилена, используемого
для производства листов

Величины	Полиэтилен	
	низкой плотности (высокого давления)	высокой плотности (низкого давления)
Индекс расплава, г/10 мин	1—2	1,3—2
Прочность на разрыв, кгс/см ²	≥ 110	≥ 200
Удлинение при разрыве, %	≥ 450	≥ 250

Таблица V-12

Температурный режим (в °C) процесса

Объект	Полиэтилен	
	низкой плотности	высокой плотности
Цилиндр червячного прессы:		
1-я зона	125±5	155±5
2-я »	135±5	165±5
3-я »	145±5	175±5
4-я »	150±5	180±5
Переход	155±5	190±5
Червяк (температура выходящей воды) .	20±5	20±5
Головка:		
середина	155±5	200±5
края	165±5	200±5
Гладильные валки:		
верхний	65±5	85±5
средний	80±5	95±5
нижний	55±5	85±5

Технологический процесс производства полотна из мягкого поливинилхлорида

Мягкое поливинилхлоридное полотно принято называть рулонным пластиком. Он представляет собой материал, состоящий из поливинилхлоридной смолы, пластификаторов, стабилизаторов и смазки.

Поливинилхлорид рекомендуется применять в виде смеси суспензионных смол разной вязкости, например смол с вязкостью 1,7—1,8 и 2,1—2,3 спз (80 : 20).

При производстве рулонного пластика червячный пресс питают горячей порошкообразной композицией.

При получении пластика толщиной 2 мм поддерживают следующий температурный режим (в °C):

Цилиндр:		Вода, вытекающая из:	
1-я зона	115±5	червяка	58±3
2-я »	115±5	зоны загрузки . .	25±5
3-я »	135±5	Гладильные валки:	
4-я »	135±5	верхний	95±5
Переход	145±5	средний	105±5
Головка:		нижний	25±5
середина	155±5		
края	175±5		

Зазор между губками головки: в середине ~1,4—1,5 мм, по краям 1,6 мм. Неровные края полотна обрезаются ножами, установленными на гладильном устройстве. Скорость отвода полотна 0,9—1,3 м/мин.

В процессе производства рулонного пластика возможно появление дефектов. Отклонения по толщине устраняются изменением температуры зон обогрева головки и калиброванием щели с помощью подвижной губки. Значительная бугристость на поверхности пластика может быть устранена понижением температур в зонах цилиндра и охлаждением червяка. При короблении полотна необходимо понизить температуру нижнего вала гладильного устройства.

В некоторых случаях получают полотна с пониженными физико-механическими свойствами. В этом случае необходимо несколько повысить температуру цилиндра и головки.

Рулонный пластикат применяют преимущественно для покрытия полов.

ПРОИЗВОДСТВО ТРУБ

Трубы из полимерных материалов обладают низкой плотностью, высокими электроизоляционными свойствами, стойки к воде, щелочам, большинству минеральных кислот, растворам солей и многим другим соединениям. Трубы из полиэтилена недостаточно стойки к бензину. Потери напора при транспортировании жидкостей в полимерных трубах меньше, чем в металлических. Вследствие этого пропускная способность последних при одинаковом сечении ниже, чем полимерных. Возможность использования пластмассовых труб большой длины сводит к минимуму потребность в соединениях, что снижает стоимость монтажа трубопроводов.

Трубы из полимерных материалов вследствие своей эластичности выдерживают гидравлические удары, отлично поглощают звуки и шумы, вызываемые потоками жидкости в трубе. Их применяют в качестве трубопроводов для транспортирования воды в коммунальных и промышленных системах, для канализационных систем, в оросительных и ирригационных системах, в химической промышленности для транспортирования минеральных кислот, щелочей, растворов солей и других агрессивных жидкостей. Широко применяют такие трубы для транспортирования газов в вентиляционных и пылеулавливающих установках, а также в установках кондиционирования воздуха.

**Агрегат
для производства
труб**

Все стадии процесса производства труб из полимерных материалов неразрывны и проводятся синхронно на агрегате, изображенном на рис. V-38:

- 1) образование расплава происходит в червячном прессе;
- 2) формование трубы из расплава осуществляется головкой;

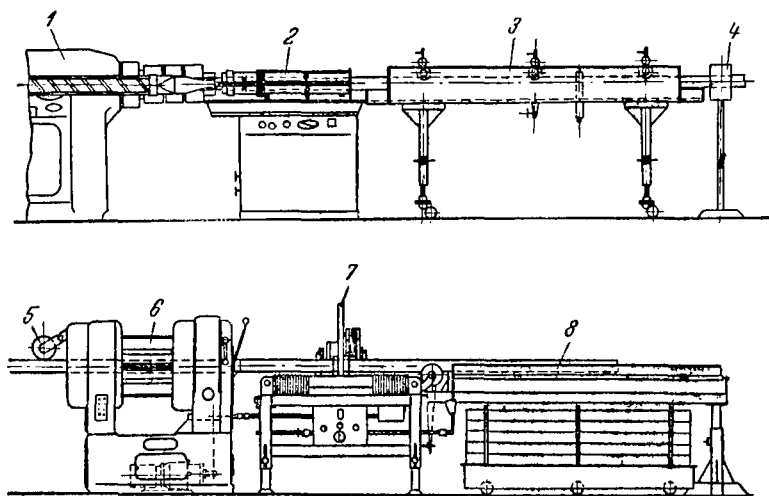


Рис. V-38. Агрегат для производства труб:

1 — червячный пресс; 2 — калибрующее приспособление; 3 — охлаждающая ванна; 4 — прибор для измерения толщины стенки; 5 — приспособление для нанесения надписей; 6 — тянущее устройство; 7 — автоматическая пила; 8 — укладчик.

- 3) калибрование трубы по наружному диаметру производится калибрующим устройством;
- 4) охлаждение трубы происходит в две стадии: в калибрующем устройстве и ванне;
- 5) непрерывный отвод труб производится тянущим устройством;

б) резка труб выполняется автоматической пилой, намотка осуществляется на специальном намоточном устройстве.

Для производства труб разных диаметров применяются следующие агрегаты с одночервячным прессом (табл. V-13). Используют также агрегаты с двухчервячными прессами: с червяками диаметром 90 мм для труб до 110 мм и с червяками диаметром 125 мм для труб до 400 мм.

Таблица V-13

Характеристика агрегатов для производства труб

Диаметр трубы, мм	Толщина стенок труб, мм	Размер червяка, мм	Общая мощность электродвига- теля, кВт
10—50	1,6—8,5	63	25
60—100	3—10,5	90	42
110—315	2,7—17,8	160	106

Двухчервячные прессы применяют для переработки порошкообразных композиций (преимущественно на основе поливинилхлорида), при этом отпадает необходимость в предварительной грануляции. Имеются сообщения о переработке поливинилхлоридных композиций и на одночервячных машинах.

Червячный пресс. Для производства труб целесообразно использовать машины с длиной червяка 20—25 D . Профиль червяка зависит от рода перерабатываемого материала. Привод червяка должен обеспечивать плавное регулирование числа оборотов. Червячный пресс снабжается устройством для перемещения червяка в горизонтальном направлении для регулирования зазора между концом червяка и головкой.

Головка изображена на рис. V-39. Мундштук 2 центрируется с помощью болтов. Дорнодержатель 4, имеющий форму крестовины, служит для крепления дорна 1 и обратной торпеды 5. Дорны больших размеров нагреваются отдельными элементами.

В середине дорна просверлен канал, через который из полости, высверленной в спице крестовины, внутрь трубы может подаваться воздух.

Все поверхности головки, соприкасающиеся с расплавами полимеров, должны быть отполированы, а при работе с поливинилхлоридом — отхромированы. Во избежание возникновения застойных зон в головке все сопряжения деталей должны быть плавными, угол между ними не должен превышать 60°. Коническая часть дорна должна иметь угол 25—35°, при этом обеспечивается хорошее сращивание струй, образовавшихся при рассечении потока крестовиной.

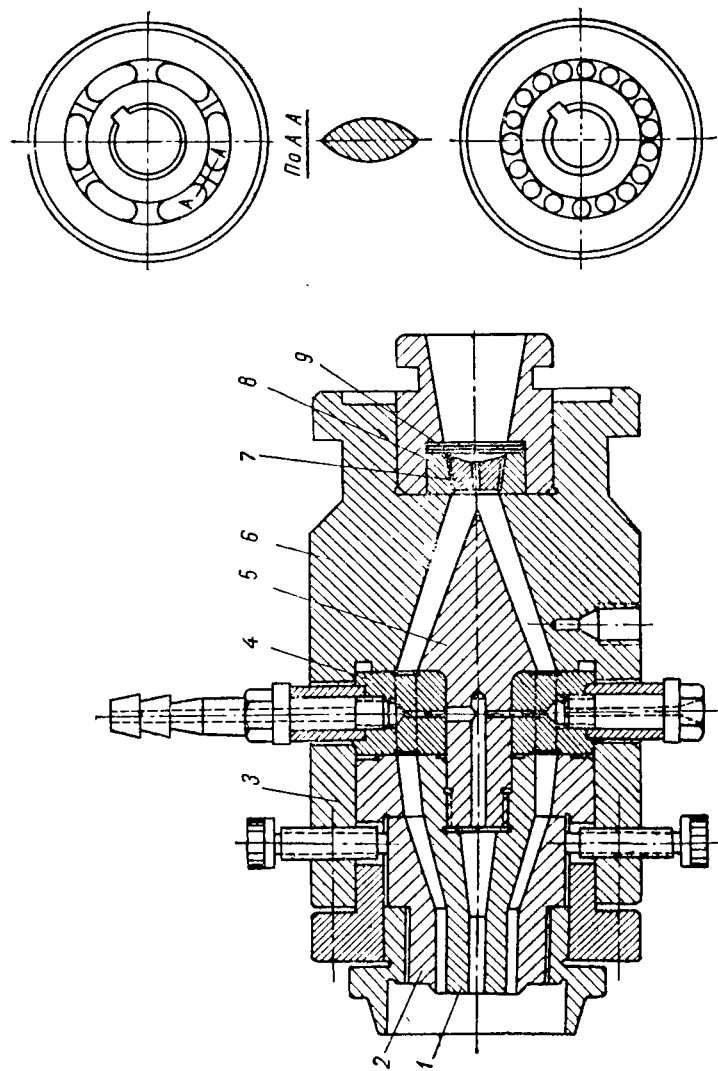


Рис. V-39. Прямочная головка:

1 — шпиль; 2 — гайка; 3 — болт; 4 — держатель; 5 — обратная торпеда; 6 — корпус; 7 — подпорная решетка; 8 — втулка; 9 — сетка.

Труба, выходящая из формующего зазора, вследствие разбухания имеет большие размеры, чем зазор; тянущим устройством труба вытягивается, и ее сечение уменьшается.

Рекомендуется, чтобы площадь формующего зазора головки была на 5—10% больше площади трубы. Длина формующей части кольцевого зазора должна быть равна 12—15-кратной его ширине.

Головку снабжают комплектом мундштуков и дорнов разных размеров, что позволяет получать на ней разные трубы.

Калибрующие насадки. Как правило, трубы калибруют по их наружному диаметру (при стыковании важно, чтобы эти диаметры были одинаковыми) при непрерывном движении трубы, которое осуществляют растяжением ее в поперечном направлении до стенок ограничивающей насадки.

Растяжение трубы в поперечном направлении может быть осуществлено двумя способами: 1) атмосферным давлением (при создании вакуума между насадкой и трубой) и 2) давлением сжатого воздуха, подаваемого внутрь трубы.

Для калибрования труб первым способом применяют вакуумную насадку (рис. V-40). Она расположена на двух направляющих, которые укреплены на передней конструкции, и представляет собой камеру, разделенную на три зоны: 1) охлаждения, 2) вакуумную, 3) охлаждения. В рубашку первой и третьей зон подают охлаждающую воду. Рубашка второй зоны соединена с вакуум-насосом. Через просверленные отверстия в этой зоне создается вакуум между насадкой и трубой и обеспечивается прижим горячей трубы к стенкам насадки. Непрерывно оттягиваемая горячая труба калибруется по наружному диаметру и охлаждается. Возможен вариант, при котором имеются две вакуумные зоны и три зоны охлаждения. Вместе с насадкой монтируется ванна для отходящей воды.

Вакуумные насадки устанавливают на расстоянии 30—70 мм от головки. Диаметр их должен быть больше диаметра трубы на 2—3% (величина, соответствующая усадке трубы) и на 5—10% больше формующего зазора головки.

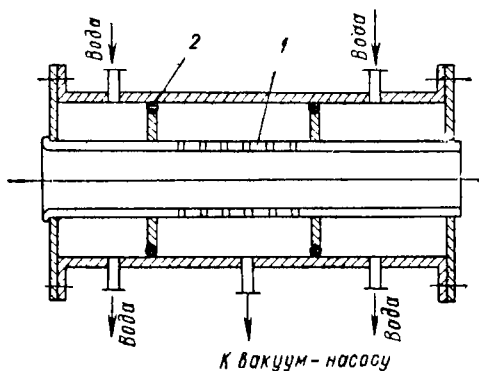


Рис. V-40. Вакуумная калибрующая насадка:

1 — калибрующая насадка; 2 — уплотняющее кольцо.

Входной участок насадки должен быть закруглен. При отсосе воздуха со стороны трубы, прилегающей к насадке, внутри трубы создается давление, равное разности давлений — атмосферного и остаточного — в вакуумной камере. Следовательно, максимальное давление, которое может быть создано в трубе, приближается к атмосферному. Величина нужного давления при калибровании зависит от материала, из которого сделана труба, и ее диаметра.

В некоторых случаях давление, которое может быть создано в вакуумной насадке, недостаточно. Например, это имеет место при производстве труб диаметром ≥ 50 мм из полиэтилена высокой плотности.

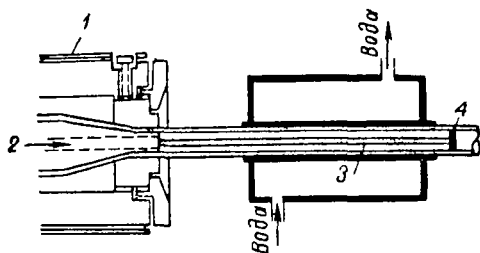


Рис. V-41. Схема калибрования труб с раздуванием сжатым воздухом:

1 — головка; 2 — канал для подачи воздуха; 3 — трос для укрепления пробки; 4 — запорная пробка.

Для калибрования труб под давлением > 1 ат используются сжатым воздухом (рис. V-41). Калибрующая насадка второго типа представляет собой металлическую трубу, охлаждаемую снаружи водой. Прижим полимерной трубы к металлической достигается за счет сжатого воздуха, нагнетаемого внутрь трубы. Воздух

запирается внутри трубы пробкой, удерживаемой металлическим тросиком, проходящим через дорн. Калибрующая насадка отделяется от головки теплоизолирующей прокладкой или устанавливается на расстоянии нескольких миллиметров от головки.

Первый способ удобнее, так как он не требует для калибрования применения запорной пробки. Вторым способом рекомендуется пользоваться только в том случае, когда для калибрования нужно давление, превышающее ~ 1 ат.

Трубы можно калибровать и по внутреннему диаметру. Конструкция насадки для внутренней калибровки изображена на рис. V-42. По трубке, проходящей через дорн, внутрь насадки поступает охлаждающая вода. Труба, протягиваемая по насадке, разглаживается и охлаждается. Эта насадка может быть использована в сочетании с насадкой, калибрующей трубу по наружному диаметру; в этом случае она не калибрует внутренний диаметр трубы, а лишь разглаживает и охлаждает внутреннюю поверхность, способствуя этим интенсификации процесса. Диаметр насадки должен быть равен внутреннему диаметру трубы. При внутренней калибровке могут быть получены трубы с толщиной стенок до 0,2 мм и не только круглые, но и другой формы, соответствующей форме насадки.

Длина насадки, калибрующей трубу по наружному диаметру, зависит от отношения толщины к диаметру (δ/D) и заданной производительности.

Для труб с $\delta \leq 0,1D$ длина калибрующей насадки может быть рассчитана по формуле:

$$L_k = \frac{\rho c}{\lambda} \delta^2 v$$

где

ρ — плотность полимера, г/см³;

c — удельная теплоемкость, кал/(г · град);

δ — толщина стенки трубы, см;

v — скорость отвода трубы, см/сек;

λ — коэффициент теплопроводности полимера, кал/(см · сек · град).

Охлаждающее устройство. Охлаждение трубы производится в две ступени: 1) предварительное в насадке и 2) окончательное в водяной ванне.

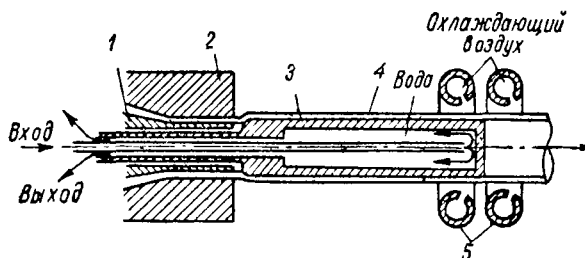


Рис. V-42. Насадка для внутренней калибровки:

1 — дорн; 2 — муфштук; 3 — удлиненный дорн; 4 — пластмассовая труба; 5 — охлаждающие кольца.

Предварительно охлажденная в насадке труба поступает в водяную ванну прямоугольного сечения, собранную из отдельных секций длиной по 1 м и установленную на передвижных стойках. Длина ванны и, соответственно, время охлаждения трубы зависят от толщины стенок. Внутри ванны расположены поддерживающие ролики или желоба, по которым передвигается труба. Высота роликов может изменяться. Вода в ванне проточная, постоянный уровень ее поддерживается переливной трубой.

На обоих концах ванны укрепляют резиновые диафрагмы с отверстием, равным диаметру выпускаемой трубы. Эти диафрагмы препятствуют вытеканию воды из ванны.

Тянущее устройство. Одна из конструкций тянущего устройства, изображенная на рис. V-43, состоит из трех тянущих транспортеров типа гусениц с резиновыми накладками. Привод тянущего устройства с механическим вариантом позволяет бесступенчато регулировать скорость движения трубы от 0,2 до 5 м/мин.

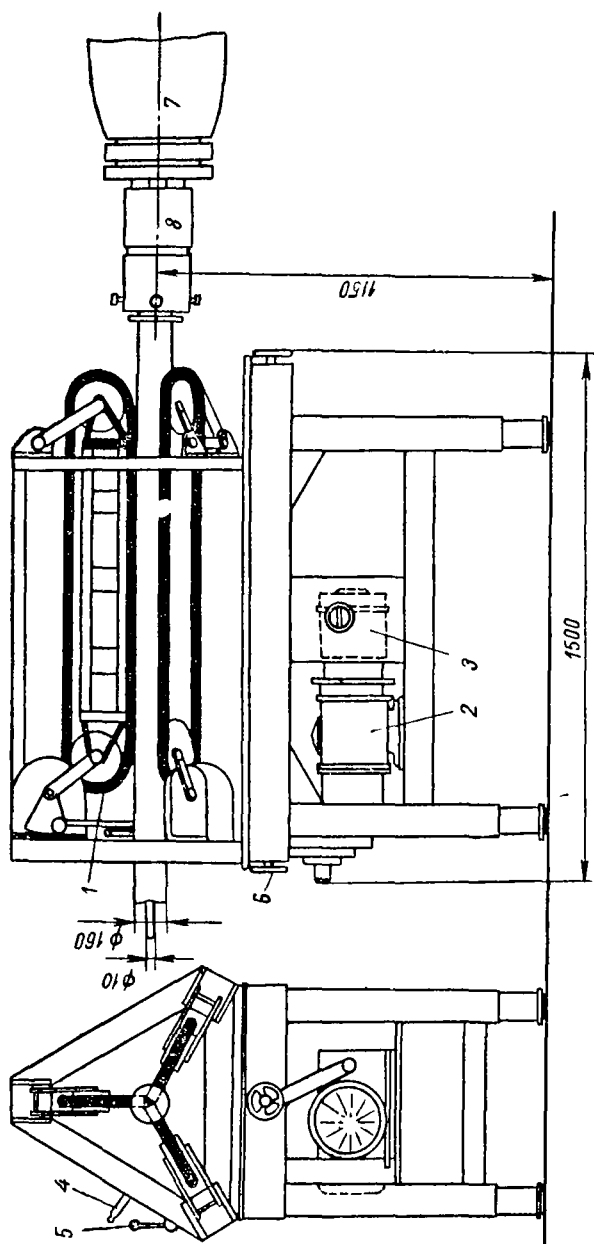


Рис. V-43. Тянущее устройство (гусеничное):

1 — резиновая гусеничная цепь; 2 — вариатор; 3 — рукоятка для установки диаметра трубы; 5 — стопор для установочной рукоятки; 6 — маховик; 7 — червячный пресс; 8 — головка.

Расстояние между транспортерами может меняться при помощи прижимных рычагов, это позволяет зажимать трубы разных диаметров (≥ 6 мм).

Сила тяги тянущего устройства колеблется в пределах 75—750 кгс, лишь в специальных конструкциях она достигает нескольких тонн.

Резательное устройство. Автоматическая маятниковая пила смонтирована на тележке, которая во время разрезания трубы передвигается по направляющим. Длина отрезаемых кусков устанавливается с помощью специального счетчика. Скорость движения тележки равна скорости движения трубы; приводы тележки и тянущего устройства соединены, что обеспечивает синхронность движения трубы на участках резания и вытягивания.

Кроме маятниковой пилы с электромотором, на тележке укреплены зажимное устройство и пневматическая установка для удаления опилок.

К резательному устройству присоединен опрокидывающийся желоб, сбрасывающий отрезанную трубу.

Намоточное устройство. При производстве гибких труб их можно наматывать на барабаны и получать бухты большой длины. Температура труб при намотке не должна превышать 30°С, так как иначе они будут сохранять радиус изгиба, приданный им при намотке.

Барабан, на который наматывают трубы, имеет коническую форму; одна щека его делается съемной.

Для намотки труб разного диаметра применяют барабаны следующих размеров:

Диаметр трубы, мм	10—25	40	50
» барабана, мм	1	1,5	2

**Установка для
производства
шлангов**

Шлангами принято называть гибкие трубки диаметром до 10 мм. Допуски по размерам позволяют получать шланги без калибрования.

Установка для производства шлангов изображена на рис. V-44. Для изготовления шлангов используют машины с диаметром червяка 20—30 мм.

Насадка представляет собой отрезок металлической трубы, через которую протягивается шланг. Вода смачивает поверхность шланга и этим облегчает перемещение его внутри протяжки. Непрерывная вытяжка шланга производится ленточным транспортером с установленными на нем прижимными роликами, имеющими выточки, соответствующие размеру изготавливаемого шланга.

При производстве шлангов из аморфных полимеров, обладающих удовлетворительной устойчивостью формы в горячем состоянии (поливинилхлорид и др.), охлаждающая насадка не нужна.

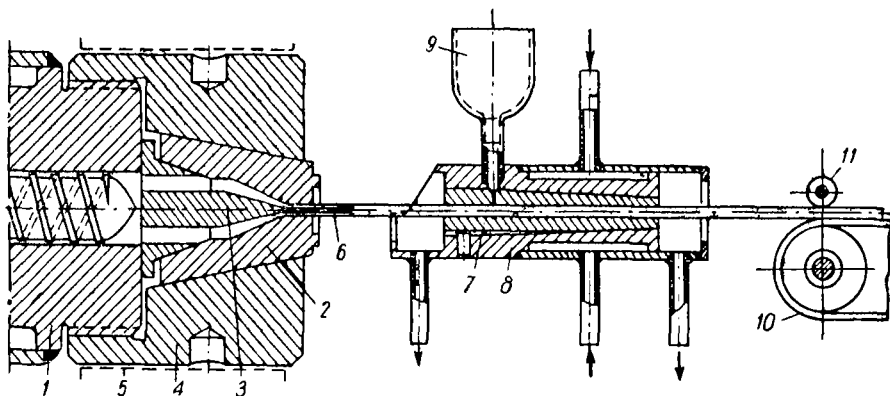


Рис. V-44. Установка для производства шлангов:

1 — червячный пресс; 2 — мунштук; 3 — дорн; 4 — накидная гайка; 5 — электрообогрев; 6 — шланг; 7 — гильза насадки; 8 — корпус насадки; 9 — воронка для подачи воды в кольцевой зазор; 10 — транспортная лента; 11 — прижимной валик.

Управление процессом

Труба центрируется болтами головки, а затем протягивается вручную через калибрующую насадку и охлаждающую ванну и зажимается гусеницами тянущего устройства. Изменением числа оборотов червяка и скорости движения гусениц тянущего устройства регулируется степень вытяжки.

Существенное влияние на качество труб оказывают условия проведения процесса — степень вытяжки, давление при калибровании и скорость охлаждения. Степень вытяжки труб ϵ_v характеризуется отношением линейной скорости вытяжки труб к линейной скорости выдавливания расплава в головке:

$$\epsilon_v = \frac{v_o}{v_v} 100$$

$$v_v = \frac{Q}{\rho \pi (D_m^2 - d^2)}$$

где v_o — скорость отвода трубы, см/мин;

v_v — скорость выдавливания, см/мин;

Q — производительность, г/мин;

ρ — плотность расплава при температуре выдавливания, г/см³;

D_m — диаметр мунштука, см;

d — диаметр дорна, см.

Зависимость механических свойств полиэтиленовых труб от степени вытяжки представлена на рис. V-45. С увеличением степени вытяжки в 3 раза удлинение уменьшается примерно на 25—40%. С увеличением толщины стенок падение удлинения при вытяжке уменьшается. По-видимому, это связано с замедлением скорости охлаждения.

Приведенные примеры свидетельствуют о том, что изменение физико-механических свойств труб вследствие вытяжки зависит не

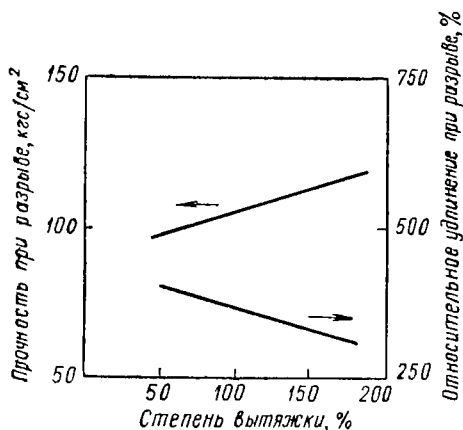


Рис. V-45. Зависимость механических свойств полиэтиленовых труб от степени вытяжки.

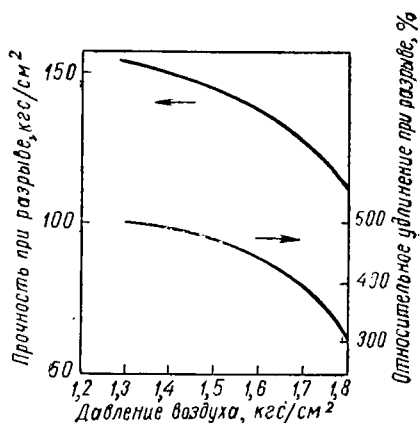


Рис. V-46. Зависимость механических свойств полиэтиленовых труб от величины давления при калибровании.

только от самой вытяжки, но и от скорости охлаждения, которой определяется степень релаксации напряжений, возникших в трубе в процессе производства, а для кристаллических полимеров и содержание кристаллической фазы.

С увеличением степени вытяжки повышается прочность при растяжении в продольном направлении и одновременно понижается относительное удлинение в том же направлении. Эта закономерность связана с ориентацией молекул в продольном направлении. Механическими свойствами труб в определенных пределах можно управлять, меняя степень вытяжки. Разница в свойствах труб в долевом и поперечном направлениях может произвольно увеличиваться или уменьшаться; целесообразно, чтобы она была минимальной, при этом свойства в обоих направлениях будут близки. Степень вытяжки должна быть в пределах 10—15%.

Зависимость механических свойств труб от величины давления воздуха при калибровании показана на рис. V-46, из которого следует, что с увеличением давления воздуха механические свойства

труб ухудшаются (особенно резко — удлинение). Поэтому в процессе производства давление воздуха должно быть минимальным, но достаточным для прижима трубы к насадке.

По-видимому, при увеличении давления повышается концентрация внутренних напряжений и одновременно возрастает скорость контакта с охлаждающей поверхностью, вследствие чего эти напряжения не успевают исчезнуть.

С повышением температуры червяка механические свойства труб изменяются, как это показано на рис. V-47. Такие изменения вызваны тем, что при повышении температуры червяка увеличивается производительность, соответственно этому сокращается время пребывания полимера в машине и ухудшается его однородность по температуре и вязкости.

При повышении температуры головки механические свойства труб изменяются незначительно, но улучшается внешний вид (увеличивается блеск).

Влияние условий ведения процесса на свойства труб вызвано

двумя факторами: степенью ориентации молекул и концентрацией внутренних напряжений.

Трубы высокого качества могут быть получены только при тщательном соблюдении выбранных условий проведения процесса.

Технологический процесс производства винипластовых труб

Характеристика выпускаемых винипластовых труб дана в табл. V-14. Трубы подразделяются на 3 типа, отличающиеся между собой толщиной стенки и, следовательно, допустимым внутренним гидростатическим давлением, устанавливаемым при длительной эксплуатации их при 20° С. Это давление принято называть номинальным.

Для производства винипластовых труб применяются композиции, состоящие из поливинилхлоридной смолы и небольших количеств (6—8 частей на 100 частей смолы) стабилизаторов и смазок. В качестве стабилизаторов широко используются соединения свинца, иногда в сочетании со стеаратами других металлов, в качестве смазок — парафин, стеарин и трансформаторное масло.

Поливинилхлоридную смолу перемешивают с перечисленными ингредиентами в смесителях для смешения порошкообразных материалов.

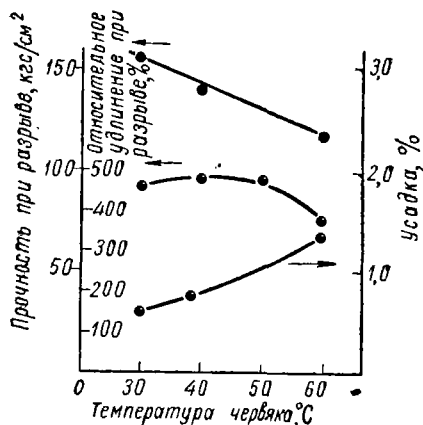


Рис. V-47. Зависимость механических свойств полиэтиленовых труб от температуры червяка.

Таблица V-14

Характеристика винипластовых труб

Трубы	Наружный диаметр, мм	Условный проход, мм	Толщина стенок, мм	Номинальное давление, кгс/см ²
Легкие (Л)	20—160	15—150	1,6—4	2,5
Средние (С)	10—160	6—150	1,6—7,7	6
Тяжелые (Т)	10—160	6—150	1,6—12,4	10

Режимы проведения процесса на одном из промышленных агрегатов даны в табл. V-15 и V-16.

Таблица V-15

Температурный режим процесса

Зона	Температура, °С		Зона	Температура, °С	
	цилиндра	головки		цилиндра	головки
1	148±3	173±3	4	158±3	188±3
2	153±3	183±3	5	163±3	193±3
4	158±3	183±3	6	168±3	200±3

Таблица V-16

Режим отвода

Размер трубы, мм	Скорость отвода трубы, м/мин	Размер трубы, мм	Скорость отвода трубы, м/мин
63×7	0,8—1	114×7	0,4—0,7
76×5	0,8—1	140×8	0,3—0,45
83×6	0,6—0,9		

При переработке композиций на червячном прессе температура воды, выходящей из червяка, 30 ± 10 , в ванне $18 \pm 2^\circ \text{С}$.

В процессе производства труб на их поверхности могут появляться дефекты, в первую очередь, резко выраженная бугристость, которая является в основном следствием неудовлетворительного нагрева и перемешивания расплава из-за недостаточного давления в машине. При появлении бугристости должны быть понижены температуры цилиндра, головки и воды, выходящей из червяка, а

также увеличено сопротивление потоку расплава путем уменьшения зазора между концом червяка и головкой.

Об эффективности принятых мер можно судить по повышению давления и потребляемой мощности, определяемой показаниями амперметра. Только при определенных значениях давления и удельного энергопотребления можно получить расплав хорошего качества.

Разложение массы не происходит в головках, не имеющих застойных зон и участков, на которых низка линейная скорость потока.

Интенсификация процесса получения расплава возможна путем разработки червяков более совершенных конструкций и охлаждения труб с наружной и внутренней поверхностей, что позволяет увеличивать скорость отвода труб.

Характеристика труб из полиэтилена низкой плотности (высокого давления) дана в табл. V-17.

Длина гибких труб может достигать 500 м. При выпуске труб из полиэтилена высокой плотности (низкого давления) толщина стенок в соответствии с величиной прочности, принятой для расчетов (50 кгс/см^2), может быть уменьшена в 2 раза.

Таблица V-17

Характеристика труб из полиэтилена низкой плотности

Трубы	Номинальное давление, кгс/см^2	Наружный диаметр, мм	Толщина стенок, мм
Легкие (Л)	2,5	16—160	1,6—7,5
Средние (С)	6	10—110	1,6—12
Тяжелые (Т)	10	10—63	2—10,5

Трубы из полипропилена выпускают за рубежом на рабочее давление 2,5 и 6 кгс/см^2 .

Для производства труб применяют полиолефины в гранулированном виде. Трубы выпускают из натуральных полиолефинов или стабилизированных 1—2% сажи.

Полиэтилен низкой плотности (высокого давления) для производства труб должен отвечать следующим требованиям:

Индекс расплава, г/10 мин	$\geq 0,2-2$
Предел прочности при растяжении, кгс/см^2	≥ 100
Относительное удлинение, %	≥ 450

При значениях индекса расплава >2 трудно получить трубы правильной формы.

Температурные режимы процесса производства труб из полиэтилена и полипропилена приведены в табл. V-18.

Таблица V-18
Температурный режим (в °С) процесса
производства труб из полиэтилена и полипропилена

Объект	Полиэтилен		Полипропилен
	высокой плотности	низкой плотности	
Цилиндр:			
1-я зона	110±10	130±10	210±10
2-я »	120±10	150±10	210±10
3-я »	130±10	170±10	—
4-я »	130±10	190±10	—
Головка:			
1-я зона	135±10	210±10	230±10
2-я »	140±10	220±10	210±10

При повышенных температурах прочность труб уменьшается:

Температура, °С	10	20	35	50	65
Прочность при растяжении, кгс/см ²	115	94	70	40	35

Полимерные трубы при длительном воздействии даже мало разрушающих внешних нагрузок ползут (удлиняются). Поэтому для расчетов труб на прочность нельзя пользоваться значениями прочности при растяжении, полученными при кратковременных испытаниях. Для таких расчетов принимают величины, полученные при длительном воздействии нагрузки, при котором удлинение не превышает 2—3%, например, для полиэтилена низкой плотности 25—30, полиэтилена высокой плотности 50 и винипласта 60 кгс/см² при 20° С.

Расчет толщины стенки S (в мм) производят по формуле:

$$S = \frac{D_{\text{ср}} p}{2\sigma_d}$$

где $D_{\text{ср}}$ — средний диаметр трубы, мм;

p — рабочее давление, кгс/см²;

σ_d — допустимое напряжение при длительной эксплуатации, кгс/см².

При нагрузках, не превышающих принятые для расчета толщины стенок, трубы должны работать 50 лет, деформируясь при этом не больше чем на 2—3%.

ПОЛЫЕ ИЗДЕЛИЯ

Бутыли, канистры, флаконы, фляги, бочки, игрушки и другие полые изделия из полимерных материалов производят в крупных промышленных масштабах. Применяют их главным образом для хранения и транспортирования химических реактивов, пищевых продуктов, нефтепродуктов, изделий парфюмерной промышленности, а также для бытовых целей.

Полые изделия из расплавов полимерных материалов могут быть получены несколькими методами; промышленное применение имеют два способа: 1) раздувание в формах заготовок, полученных на червячных прессах и 2) раздувание в формах заготовок, полученных на литьевых машинах. Первый метод более производительен, поэтому он получил большее распространение.

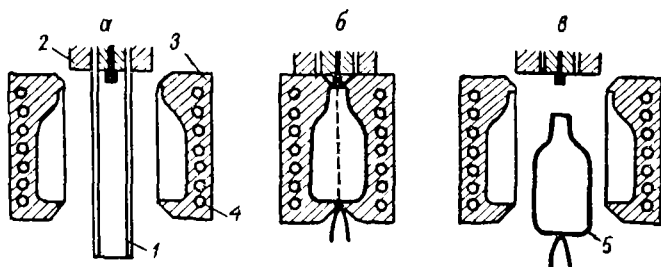


Рис. V-48. Выдувание полых изделий с подачей воздуха через дорн:

а — первая фаза (выдавливание); *б* — вторая фаза (раздувание); *в* — третья фаза (разъем формы и извлечение изделия);
1 — выдавленная заготовка; *2* — мундштук; *3* — форма; *4* — канал для охлаждения формы; *5* — готовое изделие.

Схема процесса производства полых изделий дана на рис. V-48. В положении *а* изображены трубчатая заготовка и полуформы в момент перед смыканием и подачей воздуха в заготовку, в положении *б* — сформованное изделие внутри формы; в положении *в* показаны раскрытая форма и извлечение из нее изделия. Воздух на раздув поступает сверху, через дорн головки.

Совершенно аналогично может быть выполнен процесс при подаче воздуха снизу (рис. V-49). В этом случае воздух подается через специальный ниппель.

Основные операции процесса выполняются следующими узлами выдувного агрегата:

- 1) получение расплава из твердого полимера происходит в червячном прессе;
- 2) формование трубчатой заготовки выполняет головка;
- 3) формование изделия раздуванием осуществляется в форме, установленной на выдувном устройстве, снабженном механизмами

перемещения частей формы (приводы этих механизмов могут быть гидравлическими или пневматическими);

4) чаще всего изделия извлекаются из формы механическим сбрасывателем;

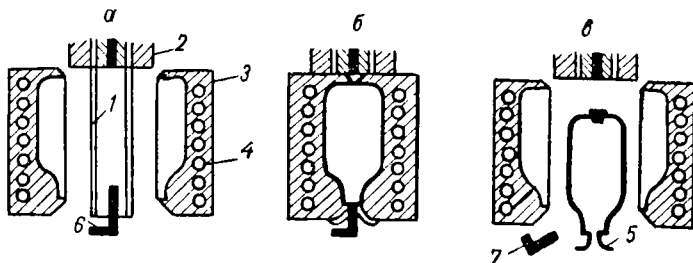


Рис. V-49. Выдувание полых изделий снизу:

а — первая фаза (выдавливание); *б* — вторая фаза (раздувание); *в* — третья фаза (разъем формы и извлечение изделия);
1 — выдавленная заготовка; *2* — мундштук; *3* — форма; *4* — канал для охлаждения формы; *5* — готовое изделие; *6* — калибровочный ниппель для выдувания воздуха; *7* — калибровочный ниппель в отведенном положении.

5) обычно выдувной агрегат укомплектовывается компрессором: сжатый воздух используется для раздувания заготовки и приведения в действие исполнительных пневматических механизмов выдувного устройства.

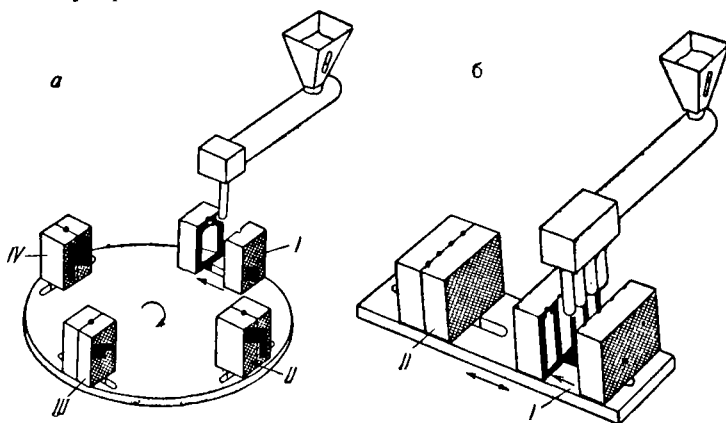


Рис. V-50. Схема действия выдувных агрегатов:

а — одномундштучный с четырехпозиционным карусельным столом; *б* — четырехмундштучный с поперечным шаговым столом;
I — выдувание; *II—IV* — охлаждение и сбрасывание изделия.

Вспомогательные операции — обработка и маркировка — выполняются на станках и специальных приспособлениях разных конструкций, соответственно с размером и конфигурацией изделий,

Агрегаты с гидравлическим приводом снабжаются гидравлической системой, которая приводит в действие исполнительные механизмы выдувного устройства. Процесс производства полых изделий двухстадийный: первая стадия — получение заготовки на червячном прессе; вторая стадия — формование изделия в форме. Чтобы обеспечить непрерывность процесса, выдувное устройство обычно снабжается несколькими формами. Это позволяет одновременно вести на одних формах раздувание и охлаждение изделий, а на других — приемку заготовок.

Известны выдувные агрегаты разных конструкций, отличающиеся положением форм в производственном цикле. На всех выдувных агрегатах формы смыкаются и размыкаются, но на одних этим ограничиваются совершаемые перемещения, а на других формы не только смыкаются и размыкаются, но и перемещаются относительно головки машины и совершают при этом круговое или поступательно-возвратное движение (рис. V-50).

Изделия разной емкости (до 1 дм^3 , от 1 до 10 и от 10 до 200 дм^3) производят на агрегатах различного типа.

Агрегат
для производства
изделий
малой емкости
(до 1 дм^3)

Одна из известных конструкций агрегата такого типа состоит из червячного пресса, двухплечевой головки и выдувного устройства с воздушным компрессором с двумя рессиверами. Агрегат укомплектовывают щитом с приборами автоматического регулирования температуры нагрева машины и головки, а также пультом управления.

Червячный пресс снабжен червяком длиной $20 D$ и диаметром 50 мм . Привод червяка позволяет бесступенчато изменять число его оборотов от 50 до 135 об/мин .

Двухплечевая головка. Формы установлены на столах выдувного агрегата с двух сторон от оси червяка, двухплечевая головка обеспечивает подачу заготовок поочередно с каждой стороны. Расплав из цилиндра машины поступает к трехходовому крану двухплечевой головки, схематично изображенной на рис. V-51. Внутри переходов, соединяющих трехходовой кран с распределителями, расположены торпеды, благодаря которым расплав течет тонким слоем и дополнительно прогревается элементами электросопротивления, расположенными на поверхностях переходов. По каждому переходу расплав поступает в многоканальный распределитель, на нижней стороне которого расположены сопла (формирующие части головки, состоящие из корпуса, дорна, мунштука и центрующих болтов), а сверху установлены вентили, регулирующие поступление расплава, и штуцеры для подачи воздуха.

С помощью трехходового крана поток расплава попеременно направляется лишь в одну из сторон головки. Хвостовик крана соединен с поворотным устройством, которое приводится в дей-

ствие двумя штоками, соединенными с пневматическими цилиндрами. В момент поворота крана прекращается вращение червяка. На многоканальном распределителе установлены шесть сопел, что позволяет одновременно выдавливать шесть заготовок. Скорость выдавливания всех заготовок должна быть одинаковой; она регулируется вручную с помощью вентиля, установленных на пути потока к каждому соплу.

Все части головки обогреваются плоскими или пальчиковыми обогревателями. Температура всех сопел должна быть одинаковой (отклонения не должны превышать ± 1 град).

С каждой стороны головки может работать следующее число форм:

Емкость изделия, дм^3 . . .	1	0,5	0,25	$\leq 0,1$
Количество форм, шт. . . .	1	1—2	2	3—6

Для изготовления изделий овальной либо другой конфигурации, имеющей в своем сечении углы, иногда применяются мунштуки и дорны, которые образуют зазор разной ширины.

Участки заготовки, которые раздуваются больше, имеют, соответственно, и большую толщину, вследствие этого разница в толщине стенок готового изделия уменьшается. При получении изделия овальной конфигурации пользуются круглым мунштуком и эллиптическим дорном или эллиптическим мунштуком и круглым дорном. Размеры инструмента рассчитываются приближенно, исходя из соотношения величин раздува заготовки в разных направлениях, а затем доводятся экспериментально до нужных значений.

Существенное влияние на качество внутренней поверхности изделий оказывает длина формирующей части мунштука и дорна. Длина формирующей части должна быть больше ширины зазора в 20—40 раз для больших и в 10—30 раз для маленьких головок.

Выдувное устройство должно сомкнуть форму в момент, когда заготовка достигнет нижнего уровня формы, подать воздух при раздувании заготовки снизу, разомкнуть форму с изделием и удалить изделие из формы. Выполнение перечисленных операций осуществляется следующими частями устройств, смонтированных на каждой стороне машины.

1. Смыкание и размыкание формы происходит на столах с направляющими. По направляющим перемещаются две плиты, на

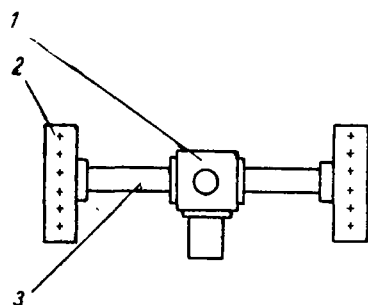


Рис. V-51. Двухплечевая головка
1—кран; 2—распределитель; 3—переходы.

которые устанавливаются формы. С помощью пневматического цилиндра, приводящего в действие рычажный механизм, выполняется поступательное и возвратное движение полуформ. Стол может подниматься и опускаться; благодаря этому форма устанавливается таким образом, чтобы избыток заготовки был минимальным.

2. При раздувании изделий снизу подача воздуха осуществляется по каналам специальной плиты, которые закрываются и открываются клапанами, приводимыми в движение пневмоцилиндрами. Воздух в заготовку поступает через ниппель.

3. Удаление изделий из формы осуществляется специальными сбрасывающими планками, которые приводятся в движение пневмоцилиндрами формирующей части.

4. Охлаждение головки производится воздухом, поступающим из трубы с поперечными прорезями, укрепленной на двух стойках. Охлаждение части головки осуществляется для того, чтобы исключить прилипание к ней следующей заготовки.

Стол имеет защитное ограждение. Передняя стенка его перемещается вертикально. Во время работы при поднятой стенке сомкнуть форму невозможно. Выдувные формы состоят из двух половин, они устанавливаются на столе и соединяются с рычагами пневматических приводов. В форме имеются каналы, в которые поступает охлаждающая вода. Сомкнутая форма должна быть установлена строго соосно с соплами, из которых выдавливаются трубчатые заготовки.

Форма в сомкнутом состоянии образует внутреннюю полость, соответствующую конфигурации готового изделия. При смыкании половинок формы трубчатые заготовки на дне изделия всегда складываются и свариваются. При формировании изделий сложного профиля происходит складывание заготовки не только в плоскости дна, но и на некоторых других участках периметра, по которому форма смыкается. На тех участках, где заготовка не перерезается половинками формы, плоскости смыкания полуформ представляют собой хорошо пригнанные поверхности. На участках, где заготовка перерезается формой, плоскости смыкания полуформ выполняются в виде узкого гребня (прессканта) треугольного или трапециевидного сечения. Прессканты обеих полуформ перерезают при смыкании избыточные части заготовок, выступающие за пределы периметра сомкнутой формы.

С целью улучшения наружной поверхности изделий в форме рекомендуется делать каналы глубиной 0,075 мм, через которые должен удаляться воздух. Этим достигается лучшее прилегание изделий к стенкам формы и, соответственно, улучшается наружная поверхность.

Две пневматические системы агрегата снабжаются сжатым воздухом от одного компрессора. Компримированный воздух направляется в два ресивера.

Компрессор и оба ресивера смонтированы внутри агрегата. В каждом ресивере и питающей от него системе устанавливается заданное давление, которое регулируется регулятором давления на входном трубопроводе. Сжатый воздух из одной системы используется для раздувания трубчатых заготовок в форме; давление в этой системе поддерживается на уровне 2—3 кгс/см².

Вторая система питает пневматические приводы, которые обеспечивают: торможение червяка; поворот крана двухплечевой

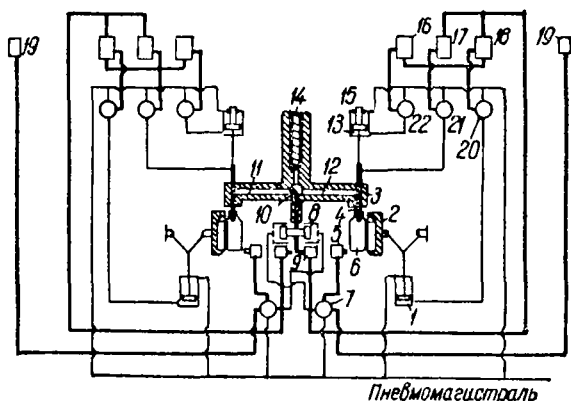


Рис. V-52. Схема автоматического управления агрегатом:

1—пневмоцилиндр смыкания форм; 2—выдувная головка; 3—трехмуфтушная головка; 4—ниппель; 5—фотореле; 6—изделие; 7, 20—22—пневмоклапаны; 8—золотник; 9—конечный выключатель; 10—распределительный кран; 11, 12—переходы; 13—пневмоцилиндр управления ниппелем 4; 14—червячный пресс; 15—поршень цилиндра 13, 16—18—реле времени; 19—конечный выключатель.

головки; смыкание формы и выдержку в сомкнутом положении; работу механизма раздува изделий; сброс изделий и, кроме того, невозможность смыкания формы при поднятом ограждении. Давление в этой системе 6 кгс/см².

Управление всеми операциями процесса производства изделий автоматизировано. Автомат снабжен действующими синхронно исполнительными механизмами: поворота крана (переключающего направление потока расплава с одного на другое плечо головки); замыкания формы; отрезания заготовки; подачи воздуха на раздувание; подачи воздуха на охлаждение торцевой части сопла; размыкания формы и сбрасывания изделия. Все исполнительные механизмы приводятся в действие автоматически при помощи электропневматической схемы (рис. V-52).

Импульсом для включения схемы в работу служит пересечение заготовкой, опустившейся до нижнего уровня раскрытой формы,

светового луча. В этот момент фотореле 5 при помощи соленоидного пневмоклапана 7 и золотника 8 включает поворотный механизм крана 10 и направляет поток расплава в один из переходов 11 или 12. Одновременно золотник включает при помощи конечного выключателя 9 клапан 20, управляющий цилиндром смыкания-размыкания формы, а также клапан 21, при помощи которого подается воздух на раздувание в ниппель 4, и два реле времени 17 и 18, определяющие длительность раздувания заготовки и начало раскрытия форм. При помощи реле 18 включается пневмоклапан 22, который подает воздух в цилиндр 13, и поршень 15 вытягивает ниппель из изделия, которое сбрасывается. Реле 18 включает реле 16, управляющее возвратом поршня и ниппеля в исходное положение. Конечные выключатели 19 заблокированы с клапаном 7 и управляют защитным ограждением.

Технологический процесс производства изделий из полиэтилена низкой плотности. Для производства полых изделий применяется полиэтилен низкой плотности (высокого давления) со следующими показателями:

Индекс расплава, г/10 мин	0,5—7
Прочность на разрыв, кгс/см ²	≥ 100
Относительное удлинение при разрыве, %	≥ 450
Внешний вид	гранулы однородные по размерам, неокрашенные или натурального цвета

Полиэтилен высокой плотности (низкого давления) для производства полых изделий должен иметь индекс расплава 1—2,5 г/10 мин.

Для изделий, предназначенных для хранения и транспортирования пищевых продуктов и особо чистых химических реактивов, нельзя применять стабилизированный полиэтилен.

Т а б л и ц а V-19
Температурный режим (в °C) процесса

Объект	Полиэтилен низкой плотности	Полиэтилен высокой плотности
Цилиндр:		
1 зона	Не обогревается	50±10
2 »		170±10
3 »		180±10
Тройник	140±10	180±10
Переходы	140±10	180±10
Распределители с формирующими соплами .	125±10	170±10

Таблица V-20

Дефекты и способы их устранения

Дефекты	Причины	Способы устранения
Недостаточная толщина стенок изделия	Велика температура расплава Низка производительность червячного пресса	Снизить температуру по зонам Увеличить число оборотов червяка
На отдельных участках тонки боковые стенки изделия	Неудовлетворительная калибровка кольцевого зазора головки	Откалибровать зазор головки
Внутренняя поверхность изделия шероховатая	Велика скорость выдавливания	Снизить число оборотов червяка
Неудовлетворительная гомогенизация расплава	Велика скорость вращения червяка	Снизить скорость вращения червяка
Различная скорость выхода заготовок из разных сопел	Неудовлетворительный нагрев сопел и регулировка вентиля	Отрегулировать температуру нагрева сопел и вентиля
При выходе из зазора заготовка прилипает к головке	Велика температура массы Велика температура головки Образовался нагар на головке	Понизить температуру в цилиндре Понизить температуру головки Очистить головку
После сброса изделий на головке остается верхняя часть заготовки	Низка температура головки Недостаточно количество воздуха для охлаждения заготовок Неправильно установлена воздушная охлаждающая трубка	Увеличить температуру головки Увеличить давление воздуха для охлаждения заготовки Установить правильно охлаждающую трубку
Образование облоя на боковых стенках изделия по линии смыкания формы	Велико давление воздуха при раздувке Неплотно смыкаются формы	Снизить давление воздуха на раздувке Установить правильную форму

Температурный режим процесса приведен в табл. V-19. В процессе работы автомата ведется систематический контроль за параметрами температурного режима, давлением в обеих воздушных системах и в системе смазки компрессора.

Примерная производительность агрегата при выпуске изделий разной емкости составляет:

Емкость изделия, мл . .	10	100	250	500	1000
Количество изделий,					
шт/ч	1100	750	400	150	75

На одном из автоматов новой конструкции число ходов смыкания форм достигает 1800 в 1 ч. Имеются автоматы, производительность которых составляет 2300 и 4300 изделий в 1 ч при одной и двухгнездной формах соответственно.

Внешний вид, а также толщина стенок изделия контролируются визуальным осмотром. Во время работы агрегата на изделиях могут появиться различные дефекты, которые сразу же должны быть устранены (табл. V-20).

**Агрегат
для производства
изделий
большой емкости**

При изготовлении больших изделий червячный пресс не может обеспечить нужную скорость выдавливания заготовки, исключая значительную вытяжку, поэтому в составе агрегата (рис. V-53) для получения

таких изделий имеется дополнительный узел — копильник.

Процесс производства изделий большой емкости состоит из следующих фаз: 1) образование расплава полимера; 2) выдавливание трубчатой заготовки; 3) накопление заданной порции расплава; 4) смыкание формы и обрезка заготовки; 5) раздувание трубчатой заготовки внутри формы; 6) охлаждение изделия; 7) размыкание формы; 8) съем изделия.

Образование расплава происходит в червячном прессе. Для накопления расплава служит материальный цилиндр копильника. Выдавливание расплава производится поршнем копильника. Трубчатая заготовка формируется угловой головкой. Формование изделия происходит в форме, установленной на выдувном устройстве; там же закреплен нож для обрезки заготовки. Приводы копильника и формы — гидравлические. Агрегат снабжен воздушным компрессором. Имеются пульта управления машиной и выдувным агрегатом, а также шкаф для приборов автоматического регулирования температуры.

Червячный пресс имеет червяк длиной 15 *D* и диаметром 80 мм. Число оборотов червяка регулируется бесступенчато в пределах 12—80 об/мин.

Копильник (подпорная головка) — горизонтальный гидравлический поршневой пресс, состоящий из материального и гидравлического цилиндров. Внутри гидравлического цилиндра переме-

щается дифференциальный плунжер, совершающий поступательное и возвратное движения. В материальном цилиндре находится поршень, который соединен с дифференциальным плунжером. Движение плунжера осуществляется под действием масла, нагнетае-

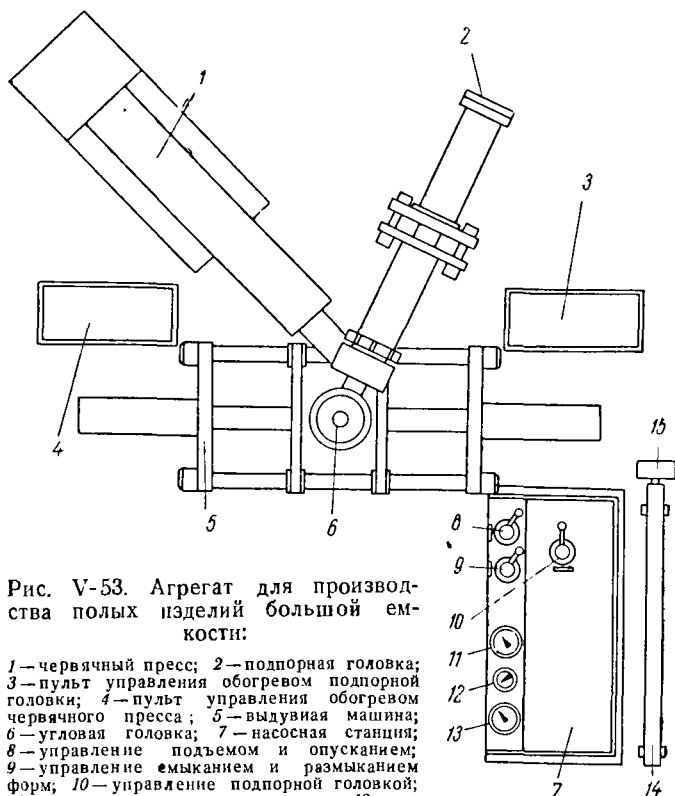


Рис. V-53. Агрегат для производства полых изделий большой емкости:

1 — червячный пресс; 2 — подпорная головка; 3 — пульт управления обогревом подпорной головки; 4 — пульт управления обогревом червячного пресса; 5 — выдувная машина; 6 — угловая головка; 7 — насосная станция; 8 — управление подъемом и опусканием; 9 — управление емкостью и размыканием форм; 10 — управление подпорной головкой; 11 — манометр воздуха для раздувки; 12 — дистанционный термометр для определения температуры масла; 13 — манометр низкого давления; 14 — пневматический поршневой аккумулятор; 15 — манометр высокого давления (контактный).

мого насосом; давление в системе 150 кгс/см^2 . Управление работой копильника ручное.

Материальный цилиндр копильника соединен с червячным прессом и имеет две зоны обогрева.

Расплав полимера выдавливается машиной в материальный цилиндр, а после накопления нужной порции — поршнем через головку. После заполнения копильника расплавом червяк останавливается, так как автоматически выключается электромагнитная

муфта сцепления в его приводе. При производстве изделий емкостью до 60 дм^3 объем копильника равен 10 дм^3 .

Угловая головка имеет боковой штуцер, при помощи которого соединяется с копильником. В корпусе головки расположены дорнодержатель, дорн и мундштук, образующие кольцевой зазор заданного размера. Мундштук может перемещаться с помощью болтов, что позволяет регулировать толщину заготовок, ликвидируя при этом разнотолщинность.

Поток расплава при входе в головку рассекается дорнодержателем, поэтому на трубчатой заготовке сохраняются вертикальные стыки — места слияния потоков. На готовых изделиях в местах стыков могут образоваться утонения. Длина формующей части должна быть в 20—40 раз больше ширины кольцевого зазора. Корпус головки обогревается тремя нагревателями, переход имеет три зоны нагрева.

Копильник и головка изображены на рис. V-54.

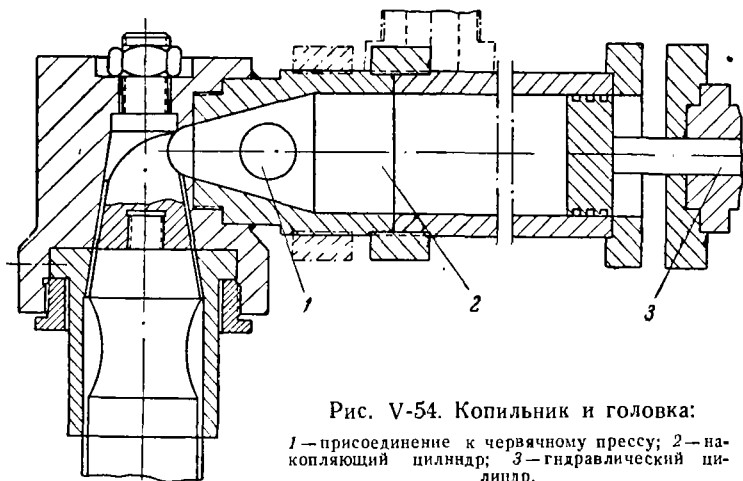


Рис. V-54. Копильник и головка:

1 — присоединение к червячному прессу; 2 — накопительный цилиндр; 3 — гидравлический цилиндр.

Выдувное устройство представляет собой раму с двумя неподвижными плитами, связанными между собой колонками. На плитах смонтированы два гидравлических цилиндра. Плунжеры этих цилиндров соединены с подвижными плитами, на которых крепятся полуформы. Выдувное устройство может подниматься и опускаться при помощи гидравлического домкрата. Воздух для раздувания заготовки подается снизу. В нижней части выдувного устройства расположен ниппель. Он оформляет внутреннюю часть горловины изделия, и через него поступает воздух. Одновременно со смыканием формы трубчатая заготовка отрезается ножом на головке. Усилие смыкания формы 20 тс. Форма охлаждается водой.

На некоторых агрегатах в целях безопасности обслуживающего персонала в момент смыкания полуформ опасная зона закрывается специальным ограждением, на котором установлена гидравлическая блокировка, не допускающая движения полуформ при открытом ограждении.

Гидроприводы. Агрегат укомплектовывается гидроприводами копильника и выдувного устройства. В каждой из этих систем имеются масляный насос, пневматический аккумулятор, исполнительный механизм (цилиндр с поршнем), а также пусковая и предохранительная аппаратура. Управление гидропроводами ручное, смонтированное на одном пульте. Давление в системе копильника достигает 150 кгс/см^2 , в системе выдувного устройства оно равно $70-80 \text{ кгс/см}^2$.

Аккумуляторная установка, предназначенная для накопления масла во время пауз в работе привода и отдачи его в рабочие периоды, состоит из баллона, дросселя и вентиля. Емкость аккумулятора $9,5 \text{ дм}^3$, заряжают его азотом.

Технологический процесс производства изделий большой емкости из полиэтилена низкой плотности. Перед началом процесса нагревают машину, головку и копильник. По достижении заданных температур нагрев продолжают еще $30-40 \text{ мин}$, затем загружают полимер в бункер машины и включают червяк, число оборотов которого регулируют в пределах $25-35 \text{ об/мин}$. После накопления расплава в копильнике червяк автоматически останавливается. Гидропривод копильника включают вручную, и начинается операция выдавливания, после окончания которой гидропривод копильника останавливают и включают гидропривод, управляющий смыканием полуформ. Управление размыканием полуформ и съем изделий производят также вручную. Существуют агрегаты с автоматическим управлением процесса.

Температурный режим (в $^{\circ}\text{C}$) процесса следующий:

Цилиндр:	
1 зона	105 ± 15
2 »	115 ± 15
3 »	130 ± 10
Переход	105 ± 15
Копильник	120 ± 20
Головка:	
1 зона	115 ± 15
2 »	115 ± 15
3 »	105 ± 15
Вода, выходящая из:	
загрузочной зоны	30 ± 10
формы	35 ± 5

Скорость выдувания заготовки регулируют изменением давления в системе гидропривода копильника. Воздух подается в заготовку снизу под давлением $3,5-4,5 \text{ кгс/см}^2$. Производительность

Таблица V-21

Дефекты и способы их устранения

Дефекты	Причины	Способы устранения
Недостаточная толщина стенок изделия	Большая вытяжка заготовки под действием собственного веса вследствие высокой температуры	Снизить температуры всех зон
Местные утолщения боковых стенок изделия	Неудовлетворительная калибровка кольцевого зазора головки Высокая температура головки Велика скорость выдавливания заготовки	Откалибровать кольцевой зазор головки Снизить температуру головки Снизить давление в гидросистеме копильника
Недостаточная толщина дна	Мала скорость выдавливания заготовки	Увеличить давление в гидросистеме копильника
Шероховатая внутренняя поверхность	Велика скорость выдавливания заготовки	Снизить давление в гидросистеме копильника
Неудовлетворительная гомогенизация расплава	Велика скорость вращения червяка Низкая температура массы	Снизить скорость вращения червяка Увеличить температуру по зонам цилиндра и копильника. Открыть подачу воды на червячный пресс
Неудовлетворительная наружная поверхность изделия	Низкая температура массы Низкая температура формы Мало давление воздуха	Увеличить температуру по зонам Уменьшить подачу воды на охлаждение форм Увеличить давление воздуха
Недостаточная толщина дна на границе со швом	Велика скорость смятия формы	Понизить скорость смятия формы перед запиранием
Ручки (канистры) имеют недостаточную толщину	Неправильно складывается заготовка в форме	Снизить скорость смятия формы Подачу воздуха начинать перед смятием формы

агрегата при выдувании изделий емкостью 20 и 40 дм^3 соответственно составляет 20 и 10 изделий в 1 ч.

В процессе производства изделий на них могут появляться дефекты, указанные в табл. V-21.

ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ

Неизбежные отходы при выдувании следующие: кромка, обрезаемая в производстве рукавной пленки ($\sim 4\%$); неровный край, обрезаемый в производстве листовых материалов; избыточный материал, обрезаемый при производстве полых изделий ($\sim 30\%$). Бракованные изделия, которые получают при запуске агрегатов, в процессе наладки и при нарушении установленных режимов, также являются отходами. Для переработки в годные изделия отходы должны быть измельчены; измельчение отходов таких хрупких материалов, как винипласт, может быть выполнено на мельницах ударного действия, а вязких материалов — полиэтилен и некоторые другие — на грануляторах ножевого типа (см. стр. 129). После измельчения отходы добавляют к основному материалу в таких количествах, в каких они образуются в производственном цикле.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНОК МЕТОДАМИ КАЛАНДРИРОВАНИЯ И ПОЛИВА

Основными методами получения полимерных пленок являются прямая экструзия, экструзия с раздуванием рукава, полив, макание, каширование и вальцово-каландровый способ.

Вальцово-каландровый способ, применяемый часто в производстве пленочного пластика и винипласта, состоит из операций смешения, вальцевания и каландрирования. Смешение поливинилхлорида со стабилизатором, пластификатором (для пластика) и другими добавками производится в двухлопастном смесителе, после чего порошкообразная смесь вальцуется при 120—130°С для пластика и 150—160°С для винипласта. По окончании вальцевания пластикатные листы, свернутые в рулон, подаются на каландр. Целью каландрирования является получение гладкой пластикатной пленки определенной толщины и ширины. У обычно применяемых четырех- или трехвалковых каландров валки вращаются в подшипниках, которые размещены в чугунной станине. Подшипники среднего валка закреплены неподвижно, а подшипники верхнего и нижнего валков могут перемещаться по вертикали посредством регулирующих винтов, что позволяет изменять зазор между валками и тем самым регулировать толщину пропускаемой пленки.

Перед началом каландрирования валки прогревают паром до требуемой температуры, затем при минимальной скорости каландра загружают перерабатываемый материал.

Ниже приведен температурный режим каландрирования пластикатной (А) и винипластовой (Б) пленок:

Температура валков (в °С)	А	Б
Верхнего	120—130	155—160
Среднего	130—140	160—165
Нижнего	140—150	165—170

Ширина пленки определяется расстоянием между ножами на нижнем валке каландра и может быть изменена перестановкой ножей. Когда толщина и ширина пленки отрегулированы, каландр переключается на рабочую скорость, устанавливаемую практически в зависимости от типа материала и равную обычно для пластикат-

ной пленки ~ 30 м/мин. Рабочую скорость каландра, равную скорости выхода материала из зазора, можно измерить практически или вычислить по окружной скорости валков. Зазор между верхним и средним валками на 0,05 мм выше зазора между средним и нижним валками, что обеспечивает требуемый запас массы в нижнем зазоре. Толщина пленки составляет ~ 1 мм. При большей толщине труднее освободиться от воздушных пузырей в пленке. Пластиковая пленка, сходящая с нижнего валка каландра, поступает на охлаждаемый водой валок и, охлажденная на приемном столе, сворачивается в рулоны или нарезается на листы определенной длины гильотинным или дисковым ножом.

Изготовление пленок методом полива состоит из следующих основных операций: приготовления раствора полимера, очистки его от механических примесей, удаления пузырьков воздуха и отлива пленки с последующим испарением растворителей.

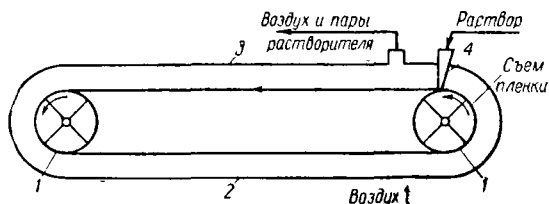


Рис. VI-1. Упрощенная схема поливочной машины:

1 — барабаны; 2 — бесконечная лента; 3 — кожух; 4 — фильера.

Растворение полимера производят в смесителях различных систем — горизонтальных, вертикальных, с мешалками и без них; в последнем случае перемешивание осуществляется вращением самого смесителя. В раствор часто добавляют пластификаторы, которые не только повышают эластичность пленки, но также регулируют скорость испарения растворителя.

Для очистки от механических примесей полученный раствор фильтруют через рамные фильтрессы или фильтры других конструкций. Отфильтрованный раствор должен быть освобожден от пузырьков воздуха посредством вакуумирования или выдержки при повышенной температуре.

Основная операция процесса — отлив пленки — производится на поливочных машинах ленточного или барабанного типа.

Более распространенная поливочная машина ленточного типа представляет собой натянутую на два барабана бесконечную ленту (рис. VI-1), изготовленную из меди или полированной нержавеющей стали длиной ~ 30 м и шириной 0,7—1,5 м. Поверхность медной ленты не является достаточно ровной и глянцевой, поэтому ее

покрывают так называемым зеркальным слоем желатины или ацетилцеллюлозы, который при изнашивании наносят вновь. Возможен отлив пленки непосредственно на металлической ленте, но при условии ее тщательной полировки и изготовления из металла, не подвергающегося действию выливаемого раствора.

Над лентой для нанесения раствора установлена фильера. Для высоковязких растворов применяют мажущие фильеры, а для низковязких — льющие. Бесконечная лента и фильера расположены внутри герметичного кожуха.

Мажущая фильера (рис. VI-2) представляет собой корыто треугольного сечения. Боковые и передняя стенки неподвижны, а ниж-

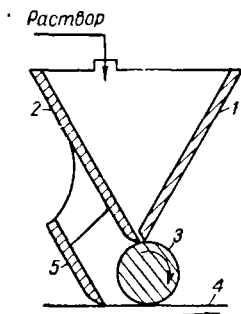


Рис. VI-2. Упрощенная схема мажущей фильеры:

1 — неподвижная стенка; 2 — подвижная стенка; 3 — валик; 4 — лента; 5 — нож.

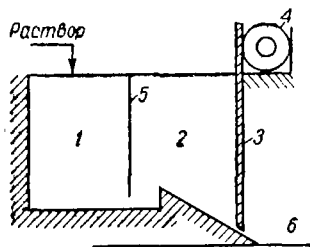


Рис. VI-3. Упрощенная схема льющей фильеры:

1 и 2 — камеры; 3 — подвижная стенка; 4 — ручной привод для подъема и опускания стенки; 5 — перегородка; 6 — лента.

няя часть задней стенки может отходить от передней или приближаться к ней, образуя щель, через которую раствор из фильеры поступает на ленту. Под фильерой расположен валик 3, вращающийся в направлении, противоположном движению ленты 4. Валик срезает избыток раствора и регулирует таким образом толщину пленки. Для создания запаса раствора на ленте служит нож (ракля) 5, расположенный также под фильерой.

Льющая фильера (рис. VI-3) состоит из двух камер, разделенных не доходящей до основания перегородкой 5. Раствор поступает вначале в камеру 1, протекает под перегородкой 5 в камеру 2 и через нижнюю щель выливается на ленту. Такая система подачи выравнивает поток, устраняя влияние неравномерности поступления его в камеру 1.

Раствор полимера через фильеру поступает на движущуюся ленту и покрывает ее ровным тонким слоем, над которым пропускается слегка подогретый воздух. Когда пленка совершит оборот,

ее снимают с ленты перед фильерой. Иногда производится почти полное высушивание пленки в поливочной машине, однако это резко снижает ее производительность. Поэтому чаще пленку снимают с ленты недосушенной и переводят в сушилки контактного или конвекционного типа.

В состав раствора входит не менее 70% растворителей, поэтому рекуперация их необходима для рентабельности производства. Для улавливания растворителей применяют адсорбционные, абсорбционные и конденсационные рекуперационные установки.

Метод полива имеет ряд серьезных недостатков: 1) сложность установки (включая систему рекуперации); 2) высокий расход растворителей; 3) пожароопасность производства; 4) необходимость тщательного заземления аппаратуры ввиду электризации при отставании пленки от подложки.

Поливочный способ используется преимущественно для получения некоторых эфирцеллюлозных пленок, для которых другие методы неприемлемы.

Каширование бумаги и ткани, т. е. покрытие их тонкой пленкой полиэтилена или других термопластов, производится двумя способами — экструзионным, описанным на стр. 194, и вальцовым, который заключается в следующем.

Полиэтилен подается в зазор между двумя нагретыми плавильными валками и в расплавленном виде наносится на бумагу или ткань, которая пропускается между плавильным и гуммированным валками. Если требуется тиснение рисунка на кашированной бумаге, то после нанесения термопласта ее пропускают между двумя валками, один из которых имеет на поверхности соответствующий рисунок. Кашированные бумаги применяют для упаковки и в качестве гибкой электроизоляции.

Методом макания получают бесшовные изделия, например перчатки, из растворов каучука или поливинилхлорида. Форму погружают в раствор, а затем извлекают из него, после чего растворитель испаряется и готовое изделие снимают с формы.

ПЕРЕРАБОТКА ЛИСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Наиболее рентабельным способом получения многих крупногабаритных изделий является переработка листовых термопластичных, реже термореактивных материалов. Основными методами при этом служат пневмоформование, вакуумформование и штампование, причем реактопласты перерабатывают в основном штампованием.

ПНЕВМО- И ВАКУУМФОРМОВАНИЕ *

Пневмоформование и вакуумформование представляют собой такие методы формования, при которых листовые термопластичные материалы, нагретые до высокоэластического состояния и герметично закрепленные на форме, принимают конфигурацию готового изделия под действием сжатого воздуха (пневмоформование) или атмосферного давления за счет создания вакуума между формой и материалом (вакуумформование). Хотя вакуумформование является частным случаем пневмоформования, обычно его рассматривают, благодаря широкому промышленному применению и некоторой специфике оборудования, как особый метод переработки листовых термопластов.

Из методов вакуумформования наиболее часто применяют:

- 1) негативный — материал втягивается в углубления формы и
- 2) позитивный — материал формуется по поверхности выпуклой формы.

Схема негативного формования представлена на рис. VII-1, а. Лист термопласта 1 зажимают в раме 2 (положение I) и плотно прижимают к форме 3, после чего к листу подводят электрический нагреватель 4 (положение II). После нагрева материала до высокоэластического состояния из формы через патрубок откачивают воздух и под давлением атмосферного воздуха происходит формование изделия (положение III). Выталкивание отформованного изделия (положение IV) производится сжатым воздухом, нагнетаемым через патрубок. Негативный способ обычно применяют при изготовлении изделий с небольшой глубиной вытяжки.

* Впервые разработано К. Н. Стрельцовым и др.

При формировании изделий с большой глубиной вытяжки на выпуклой форме применяют позитивный метод (рис. VII-1, б). Закрепленный в раме 2 лист термопласта 1 нагревается до температуры формования (положение I), после чего опускается рама с листом или поднимается форма 3 и производится механическая вытяжка листа, плотно покрывающего вакуумную часть формы (положение II). Окончательное формование изделия происходит

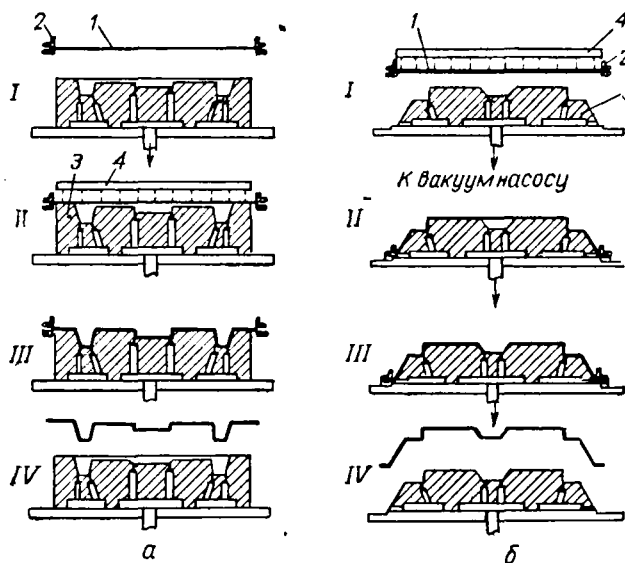


Рис. VII-1. Схема вакуумформования отрицательным (а) и позитивным (б) методами:

1 — листовая заготовка; 2 — зажимная рама; 3 — форма; 4 — нагреватель.

под действием атмосферного давления после откачивания воздуха из формы через патрубок (положение III). Готовое изделие сжатым воздухом выталкивается из формы (положение IV).

Основным преимуществом вакуумформования является простота установки и обслуживания, а также возможность визуально наблюдать за процессом формования изделий. Однако небольшой перепад давления (менее 1 кгс/см^2) препятствует применению этого метода для получения толстостенных и сложных по конфигурации изделий, а также изделий из жестких термопластов, изготавливаемых поэтому методом пневмоформования. Собственно пневматическим формованием, или выдуванием, называется такая разновидность метода, при которой в форме имеется матрица, а роль пуансона выполняет сжатый воздух. Если же в форме имеется пуансон,

а сжатый воздух выполняет роль матрицы, то метод носит название пневматического обжима. Наряду с этим применяются методы комбинированного формования, в которых в одной форме совмещены операции выдувания и пневматического обжима, а также, если это необходимо, протяжки, штампования, вырубки, опрессовки и т. д.

Пневмоформование производится на гидропрессе или беспрессовым методом. В предварительно подогретую до 40—60° С форму до ее установки на прессе быстро переносят разогретую заготовку термопласта и герметично зажимают ее по периметру. Затем производится формование под действием сжатого воздуха, нагнетаемого в пневмокамеру, после чего изделие охлаждают и извлекают из формы.

Нередко применяют комбинированный метод вакуум-пневмоформования, при котором по одну сторону листовой заготовки создается вакуум, а по другую — давление сжатого воздуха.

Существуют методы свободного формования, когда изготовление изделия производится без применения матрицы и пуансона.

При свободном вакуумформовании листовая заготовка нагревается над вакуумкамерой, после чего втягивается в нее под действием атмосферного давления. Образовавшаяся полусфера не касается стенок камеры и охлаждается при пониженном вакууме для сохранения полученной конфигурации.

При свободном выдувании лист зажимают по контуру прорези пневмокамеры, нагревают и подают сжатый воздух, при помощи которого из листа выдувается сферическое изделие. Свободным вакуумформованием и выдуванием обычно изготавливают изделия из органического стекла.

Поскольку материал формуется не соприкасаясь с металлом, полученные изделия имеют гладкую поверхность и высокую прозрачность (колпаки кабин самолетов и т. п.).

- | | |
|--|--|
| Основные
закономерности
и технология
процессов
пневно-
и вакуумформования | Процесс формования состоит из следующих основных операций: |
| | 1) закрепления листовой заготовки; |
| | 2) нагревания заготовки; |
| | 3) собственно формования; |
| | 4) охлаждения изделия в форме; |
| | 5) разъема формы и извлечения готового изделия. |

Если нагревание заготовки производят не в самой формовочной машине, то вначале заготовку нагревают, а потом уже помещают в формовочную машину.

Закрепление листовых заготовок в раме для беспрессовых установок производят посредством пневматических кулачковых затворов, прижимающих верхнюю часть рамы к нижней. В машинах больших размеров четыре кулачковых затвора создают усилие 5000 кгс и более, что обеспечивает надежное закрепление листов

различной толщины и жесткости. Прижимная рама во избежание излишнего охлаждения листов или их прилипания к раме подогревается или охлаждается водой.

Чем толще заготовка, тем выше должна быть разность давлений по обе стороны листа и тем шире, следовательно, кромка, по которой зажимается лист, что значительно увеличивает отсекаемую часть листа. При негативном формовании отсекаемая часть составляет 20—40, а при позитивном 30—50% материала. Хотя отходы поступают в повторную переработку, целесообразно по возможности снижать ширину защемленной кромки. Так, минимальные отходы получают при пневмоформовании предварительно нагретых заготовок на гидропрессах.

Нагревание листовых заготовок производят различными способами: на металлической плите, обогреваемой паром, горячей водой, маслом или электроспиралью; горячим воздухом; в термошкафах с терморadiaционной системой нагрева и циркуляцией воздуха, а также с помощью инфракрасного излучения. Нагреватель должен удовлетворять следующим требованиям:

- 1) нагревание заготовки до температуры формования должно происходить достаточно быстро;

- 2) нагревание листа должно быть равномерным, за исключением тех случаев, когда в местах сгиба применяют затенение.

Заготовки из полиэтилена и материала СНП разогревают в термошкафах на горизонтально расположенных и обтянутых теплоустойчивой тканью полках с отверстиями для циркуляции воздуха. Крупные листы органического стекла или винипласта нагревают, подвешивая их в печь вертикально при помощи крючков, вставляемых в заранее высверленные отверстия, или прижимных захватов.

Дверцы термошкафа должны быть минимальных размеров для уменьшения охлаждения его во время загрузки и выгрузки заготовок. Для сохранения постоянной температуры в зонах нагрева заготовок шкаф снабжают специальными устройствами для равномерного распределения потоков циркулирующего в нем горячего воздуха.

При малых объемах работ, небольших габаритах изделий и отсутствии хорошо оборудованного термошкафа для разогрева заготовок можно пользоваться плитой с паровым, электрическим или индукционным обогревом. Поверхность плиты должна быть чистой, ровной и полированной. Плита должна иметь одинаковую во всех точках и строго регулируемую температуру.

При промышленном производстве нагрев заготовок осуществляется в специальных механизированных электропечах с выдвижным столом.

Процесс нагревания инфракрасным источником тепла характеризуется следующими основными параметрами: температурой нагревателя, плотностью излучения, расстоянием между

нагревателем и листом термопласта, а также коэффициентом поглощения лучистой энергии нагреваемым материалом. При циркуляции воздуха в зоне нагрева большое значение имеют скорость воздуха, его начальная и конечная температура.

Нагреватель обычно располагают на расстоянии 75—100 мм от поверхности листа. Для регулирования расстояния между нагревателем и листом обычно применяется червячная передача с ручным штурвалом.

Температура формования листовых термопластов может изменяться в некотором интервале в зависимости от теплофизических свойств самого материала, размеров и формы получаемого изделия. Минимальной температурой формования является та низшая температура, при которой изделие получается без отбеливания на изгибах. Максимальная, или критическая, температура формования — это такая температура, выше которой начинается деструкция нагреваемого материала или провисание листа под действием силы тяжести. В последнем случае возможно также образование складок на стенках изделий из-за температурного расширения и текучести размягченного листа. Температурное расширение составляет $\sim 1\text{--}2\%$ во всех направлениях для неориентированного материала. В некоторых случаях материал подвергают предварительной вытяжке, для того чтобы вызванная ею усадка компенсировала расширение листа при нагревании.

Провисание формируемых листов можно предотвратить подбором термопласта с высокой вязкостью, т. е. низким индексом расплава.

В табл. VII-1 указаны условия нагрева ряда листовых термопластов перед формованием.

Таблица VII-1
Режим нагрева термопластов перед формованием

Материал	Температура нагрева, °C	Критическая температура, °C	Продолжительность нагрева, мин на 1 мм толщины
Органическое стекло	120—200	210	1—2
Винипласт	100—160	170	1—2
Сополимер СНП	120—130	150	1,1—2
Полнэтилен			
низкой плотности	90—100	110	—
высокой »	120—135	145	—

В процессе формования в материале под действием внешних сил (давление пресса, растягивающие усилия при выдувании и т. д.) возникают внутренние напряжения. При быстром охлаждении они не успевают исчезнуть и «замораживаются». Остаточные

внутренние напряжения способны вызывать медленные процессы деформации изделий. Во избежание этого в отдельных случаях применяют нагрев до температуры, близкой к критической, и замедленное охлаждение отформованного изделия. Формование производят подогретым сжатым воздухом, под его давлением проводят и выдержку в течение нескольких минут. Установлено, что формование с применением горячего воздуха (90—100°С) в подогретых до 50—60°С формах обеспечивает хорошую стабильность размеров изделия и приводит к снижению остаточных напряжений.

Заготовки из органического стекла, нагретые до 180—200°С, можно оставлять в термощкафу на 10—15 мин после достижения рабочей температуры, в то время как заготовки из винипласта следует переносить в форму сразу же после достижения температуры, близкой к 160°С, так как дальнейшее пребывание заготовки в термощкафу может привести к расслоению или разложению материала. При формовании изделий из винипласта для снятия внутренних напряжений следует применять горячий воздух и выдержку под давлением в течение 2—3 мин до начала охлаждения.

При нагреве заготовок из полиэтилена в связи с его кристаллическостью необходимо очень точно соблюдать температурный режим. В случае незначительных отклонений от установленной температуры нагрева неизбежны большие затруднения в процессе формования: при недогреве заготовки в изделии возникают большие остаточные напряжения, а при перегреве материал чрезмерно размягчается, начинает течь и теряет способность к нормальному формованию, что приводит к неисправимому браку.

Необходимо иметь в виду, что при разогреве заготовок происходит их усадка, поэтому перед раскроем листового материала на заготовки следует установить на образце величину усадки для данной партии материала вдоль и поперек листа и учитывать ее при раскрое. Величина усадки зависит от температуры нагрева, времени нахождения заготовки в нагревательной установке, марки и сорта материала.

Ниже приведены данные по величине усадки (в %) для некоторых материалов:

Органическое стекло	1—2
Винипласт	4—7
Сополимер СНП	3—6

Длительность нагрева термопластов τ (в ч) до требуемой температуры размягчения при одностороннем обогреве может быть определена по формуле:

$$\tau = \frac{c\rho(t_2 - t_1)\delta^2}{10^4 \lambda \Delta t}$$

где c — удельная теплоемкость, ккал/(кг·град);
 ρ — плотность, кг/м³;

t_1 и t_2 — соответственно начальная и конечная температуры материала, °С;

λ — коэффициент теплопроводности материала, $\frac{\text{ккал}}{\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{град}}$;

δ — толщина листа, м;

Δt — разность температур поверхностей листа, град.

Величины t_2 , Δt и λ являются переменными, поэтому уравнение решается методом последовательного приближения. На практике пользуются номограммами, составленными по этой формуле.

Более равномерный нагрев листа наблюдается при большем удалении его от нагревателя, однако при этом увеличивается время нагревания. Чтобы ускорить прогрев листа, применяют двустороннее нагревание, высокочастотный (для полярных пластмасс) и предварительный нагрев листов вне формовочной машины. При инфракрасном обогреве лист термопласта помещают на металлическом листе, что обеспечивает выравнивание температуры нагрева.

Длительность нагревания листов до температуры формования составляет 50—80% общей продолжительности рабочего цикла, поэтому ускорение этого процесса значительно повышает производительность формовочных машин.

Собственно формование характеризуется следующими основными параметрами: температурой, разностью давлений, скоростью, природой термопласта, толщиной формируемого листа и степенью вытяжки.

Толщина заготовки чаще всего составляет 1—12 мм.

Необходимая разность давлений зависит от природы материала, его температуры и толщины листа. Для листов толщиной около 8 мм требуется разность давлений 6—15 кгс/см². При нанесении на изделие рельефного рисунка применяют гораздо более высокое давление порядка 15—23 кгс/см².

Температура заготовок и применяемое при формовании давление являются взаимозависимыми величинами. Более высокая температура позволяет существенно снизить давление воздуха. Например, при формовании изделия сложной конфигурации с гравированным рисунком из органического стекла с неглубокой вытяжкой для заготовки, разогретой до 150—160°С, необходимо давление 16 кгс/см², в то время как для той же заготовки, нагретой до 180—200°С — 10—12 кгс/см².

Если формование проводится при повышенных температурах, близких к температуре текучести материала, заготовка вначале зажимается при низком давлении пресса и выдерживается 15—30 сек для отверждения кромки, охлаждение которой проходит быстро благодаря контакту с металлом формы. После этого переключением пресса на высокое давление заготовка окончательно зажимается по периметру формы. Этот метод работы особенно не-

обходим при использовании форм с отжимными кромками и обрубным устройством, в частности для изделий с толстыми стенками ($>5-6$ мм).

Как только заготовка закреплена, немедленно (пока разогретая заготовка не остыла) подается сжатый воздух и производится формование изделия.

При получении изделий, требующих глубокой вытяжки, скорость подачи воздуха должна быть значительно снижена по сравнению со скоростью, применяемой при формовании изделий неглубокой вытяжки. Воздух в камеру следует подавать рассеянный, что достигается с помощью встроенного в штуцер с внутренней стороны камеры барботера или губки. Направленная сосредоточенная подача воздуха приводит к неравномерному охлаждению и снижению качества изделия.

Для свойств изделия большое значение имеет направление вытяжки, которое определяет ориентацию цепей полимера и тем самым механические показатели изделия. При одномерной вытяжке, т. е. вытяжке в одном направлении, механическая прочность изделия резко возрастает в направлении вытяжки и значительно понижается в перпендикулярном направлении. Однако для процессов вакуум- и пневмоформования характерно распределение вытяжки по различным направлениям, причем ее средняя величина для большинства изделий не превышает 60%, разность же вытяжки по двум взаимно перпендикулярным направлениям достигает 30%. При этом различие в механических свойствах изделия в продольном и поперечном направлениях невелико.

Скорость вытяжки определяется толщиной листа и его температурой. Замедленная вытяжка приводит к преждевременному охлаждению и растрескиванию материала, а при слишком быстрой вытяжке может произойти чрезмерное утонение его в местах углублений и на углах. Более тонкие листы, охлаждающиеся быстрее, формуют с большей скоростью.

Сильно сказывается на качестве отформованных изделий степень утонения листа при переработке. Так, при формовании полусферы средняя степень утонения равна отношению площади круглой заготовки к поверхности полученной полусферы:

$$\frac{\pi d^2}{4} : \frac{\pi d^2}{2} = 0,5$$

где d — диаметр заготовки, равный диаметру полусферы.

В действительности утонение распределяется неравномерно и зависит не только от формы изделия, но также от режима формования и природы термопласта. У винипласта степень утонения (модуль) изменяется от 0,9 у места защемления листа в рамке до 0,3

в центре изделия (рис. VII-2, а), причем с увеличением глубины изделия неравномерность утонения растет (рис. VII-2, б).

Поскольку прочность детали определяется минимальной толщиной стенки, низкое значение модуля утонения весьма нежелательно. Имеется несколько способов повышения этой величины: частичное затенение отдельных участков листа, применение предварительной вытяжки и «замораживание» средней части листа более холодным пуансоном. Применяется также секционный обогрев, позволяющий регулировать температуру листа и, следовательно, его утонение на отдельных участках. Кроме того, используется дифференцированная вытяжка под вакуумом: максимальная на сгибах и

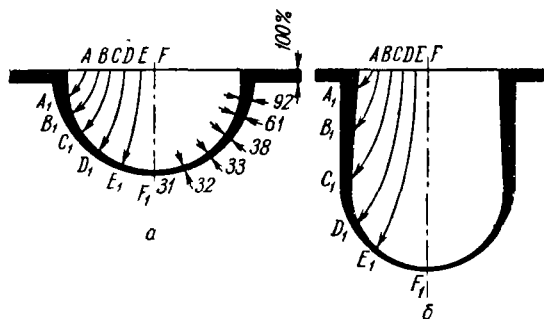


Рис. VII-2. Схема изменения толщины стенки изделия из винипласта:

а — при формировании полушеры; б — при формировании глубокого изделия.

минимальная на ровных участках. Однако при этом повышаются внутренние напряжения.

Охлаждение формы производится циркулирующей водой или воздухом. Длительность охлаждения зависит от конструкции формы, материала и размеров изделия и составляет в среднем около 0,5 мин на 1 мм толщины изделия.

Выгрузка изделий обычно производится сжатым воздухом.

Формы

Для пневмо- и вакуумформования применяются различные по конструкции и материалу формы.

Простейшие формы весьма экономичны при мелкосерийном производстве ввиду незначительной трудоемкости их изготовления. В корпусе матрицы просверлены каналы или проложена специальная трубка для циркуляции охлаждающей воды, или же матрица снабжена водяной рубашкой для охлаждения изделий. При выдувании изделие опирается на стенки матрицы и быстро отдает им тепло.

В металлических формах, отличающихся высокой прочностью, можно применять высокие давления и изготавливать изделия сложного профиля с острыми гранями и точными размерами. Форма может быть изготовлена из стали, медных и алюминиевых сплавов и других металлов. Стальные формы нет необходимости закалывать, так как в отличие от компрессионного прессования изделий из пластических масс износ форм при пневмоформовании невелик. На рис. VII-3 представлена металлическая цельнокорпусная форма.

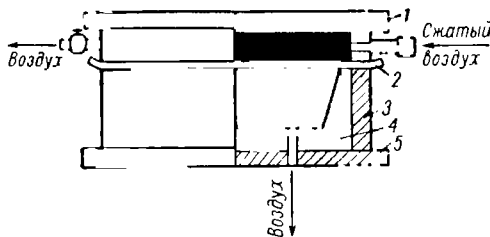


Рис. VII-3. Цельнокорпусная открытая форма:

1 — крышка камеры; 2 — заготовка; 3 — обойма; 4 — матрица; 5 — опорная плита.

В некоторых случаях нет необходимости в изготовлении сплошной матрицы. Значительно лучший внешний вид имеют изделия, полученные в так называемых реберных формах (рис. VII-4), которые в отличие от цельнокорпусных не имеют в матрице сплошной опорной поверхности. Она заменена ребрами, в пространстве между которыми материал изделия не имеет опоры во время формования. Поэтому в реберных формах можно получать только изделия с негладкими стенками, имеющими различные сферические и цилиндрические выпуклости, образующиеся между ребрами формы. Такие выпуклости служат или для

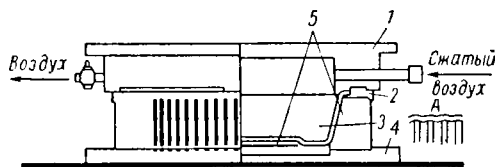


Рис. VII-4. Реберная форма открытого типа:

1 — камера; 2 — рамка; 3 — заготовки; 4 — нижняя плита; 5 — ребра; А — распределение материала в реберной форме.

придания жесткости изделиям из тонких листов термопласта, или для украшения изделий бытового назначения.

В частности, целесообразно применение реберных форм при переработке органического стекла. На поверхности изделий из органического стекла, изготовленных в формах со сплошной опорной поверхностью, отпечатываются все малейшие неровности и дефекты последней и, кроме того, из-за быстрого охлаждения поверхностного слоя формуемого изделия образуется «сыпь». В результате поверхность готового изделия значительно уступает по внешнему виду исходной поверхности листа органического стекла. В реберных формах изделие опирается только малой частью поверхности на ребра формы, основная же часть поверхности изделия полностью сохраняет свой блеск и гладкость. Таким образом

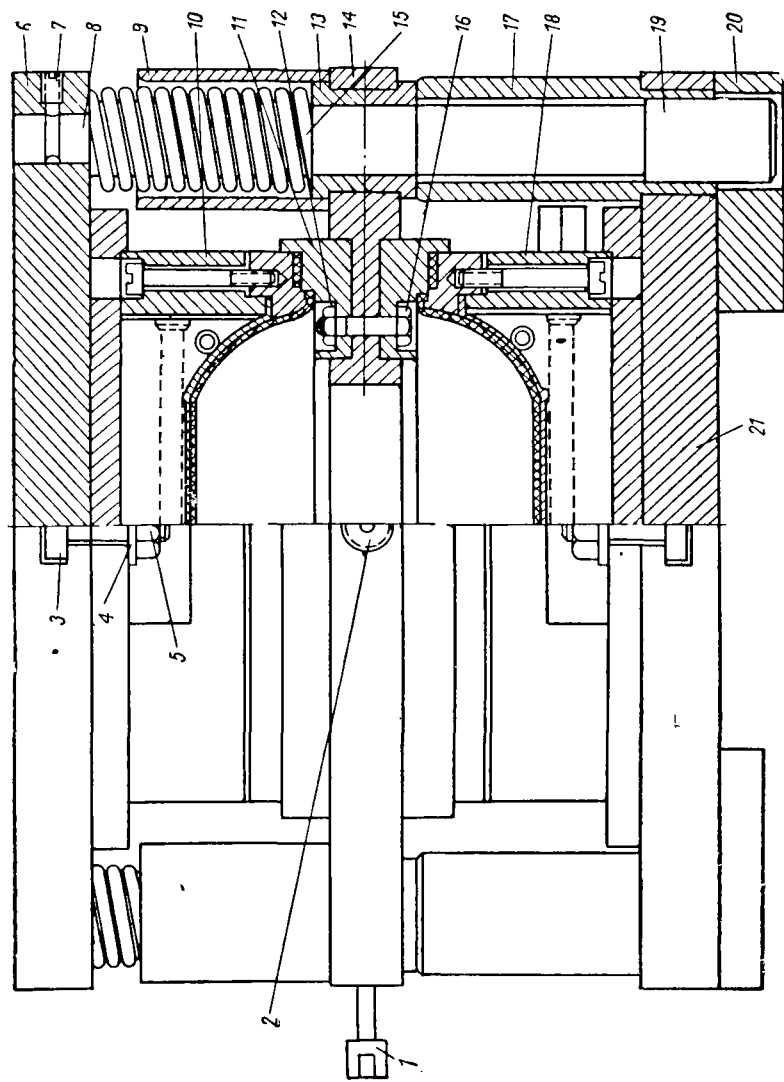


Рис. VII-5. Двухсторонняя форма:

1 — переходная втулка; 2 — nipple для подачи воздуха; 3, 4, 5 — крепежные детали; 6 — верхняя опорная плита; 7 — съемные формы; 8 — втулка направляющая; 9 — втулка направляющая; 10, 18 — гальванические опорные формы (сменные); 11 — пневматическая камера с обрубным устройством; 12 — гайка; 13 — втулка направляющая; 14 — плита камерная; 15 — пружина; 16 — болт; 17 — втулка опорная; 19 — брус опорный; 20 — плита опорная; 21 — нижняя опорная плита.

изготавливают разнообразные изделия бытового назначения из органического стекла: вазы, сухарницы, сахарницы, коробки и т. п.

Конструкции реберных форм экономичны и просты. Давление воздуха при формовании изделий в этих формах не должно превышать $3\text{--}5 \text{ кгс/см}^2$, в противном случае материал заготовки, не имеющий в момент выдувания полной опоры, может быть прорван.

Для одновременного изготовления двух изделий могут быть применены двухсторонние (или двухэтажные) формы (рис. VII-5).

В целях экономии металла и снижения трудоемкости изготовления форм в настоящее время в СССР разработаны новые конструкции гальванических форм с применением неметаллических опорных масс.

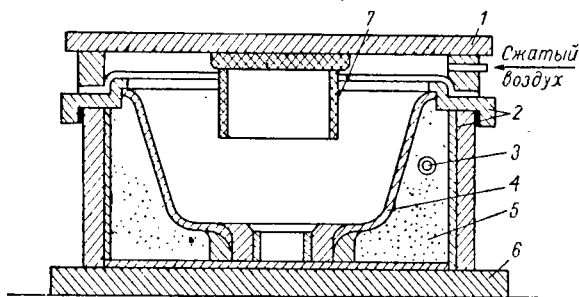


Рис. VII-6. Крупногабаритная гальванобетонная форма:

1 — пневмокамера; 2 — обойма с оформляющей рамой; 3 — охлаждающая система; 4 — тонкостенная гальваническая матрица; 5 — опорная масса; 6 — металлическая опорная плита; 7 — устройство для протяжки заготовки.

Гальванобетонные опорные формы (рис. VII-6) относятся к группе цельнокорпусных пневматических форм, пригодных для работы при высоких давлениях, обеспечивающих изготовление изделий сложного профиля. Они состоят из металлического основания, обоймы с матрицей и пневматической камеры.

Особенность таких конструкций заключается в том, что тонкостенная металлическая матрица изготавливается гальваническим способом непосредственно с оригинала изделия или модели, выполненной из воска, гипса, пластмассы или других неметаллических материалов, покрытых токопроводящим слоем графита, нитрата серебра или тончайшим слоем металла, нанесенного на модель путем распыления его в вакууме.

Матрицу, после полировки и хромирования ее рабочей поверхности, устанавливают в металлической обойме. Обойма с укрепленной матрицей снабжается охлаждающей системой в виде трубок для циркуляции воды. Для обеспечения необходимой

прочности матрицы полость обоймы с системой охлаждения заполняется опорной массой, обладающей хорошим сопротивлением на сжатие. Собрannую таким образом форму плотно закрепляют на опорной плите.

Как показала практика, формы такой конструкции устойчивы в условиях эксплуатации их на прессе при изготовлении изделий под давлением 10—25 кгс/см².

**Пневмо-
и вакуумформовочные
установки**

Машины для пневмо- и вакуумформования классифицируются по следующим признакам:

1. По способу управления:

- а) машины с ручным управлением;
- б) полуавтоматические машины (вручную производятся лишь загрузка заготовок и извлечение готовых изделий);
- в) автоматические машины.

2. По количеству одновременно перерабатываемых листов:

- а) односекционные машины;
- б) многосекционные машины.

3. По количеству одновременно проводимых операций:

- а) однопозиционные машины;
- б) многопозиционные машины.

Кроме того, установки для пневмо- и вакуумформования подразделяются на прессовые и беспрессовые.

**Вакуумформовочные
машины**

Простейшая вакуумформовочная установка с ручным управлением представлена на рис. VII-7. Заготовку листового термопласта 5 укладывают на резиновую уплотнительную прокладку 2 на поверхности формы и плотно прижимают рамкой 3 при помощи эксцентрикового зажима 6. К заготовке подводят нагреватель 4 и непосредственно на форме ведут нагрев заготовки до высокоэластического состояния. Для ускорения нагрева можно устанавливать на форму предварительно подогретый материал, однако температура его не должна вызывать начала размягчения термопласта, например, для органического стекла и винипласта температура предварительного нагрева $\leq 80^\circ\text{C}$.

Одновременно с нагревом заготовки включают вакуум-насос и производят отсос воздуха из полости матрицы 1 через имеющиеся в ней мелкие отверстия 7. Наличие резиновой прокладки 8 позволяет легко заменять формы на установке, оборудованной вакуум-насосом.

Отсос воздуха и обогрев материала продолжают до полного оформления изделия. После этого нагреватель отводят от формы и изделие интенсивно обдувают холодным воздухом, затем отключают вакуум-насос и, подавая сжатый воздух под изделие, извлекают его из формы.

Венгерский полуавтомат с площадью формовки от 200×200 до 800×900 мм, пригодный как для негативного, так и для позитивного формования, представлен на рис. VII-8.

На станине 1 смонтирован стол 7 для негативного вакуум-формования, стойка 4, несущая инфракрасный нагреватель 5, и пневмокамера 3 для позитивного формования. Пуансон для позитивного формования поднимается с помощью пневмоцилиндра 2 с прессующим усилием до 30 тс. Нагреватель 5 мощностью 125 кВт может поворачиваться вокруг стойки и попеременно нагревать заготовки, установленные на столе 7 и в камере 3. Внутри станины размещены вакуум-насос (производительностью $30 \text{ м}^3/\text{ч}$), компрессор (производительностью $12 \text{ м}^3/\text{ч}$) и ресивер, на передней стенке станины — приборы управления 6. Механическое зажимное приспособление, устанавливаемое на столе 7, оснащено рамками 1000×600 мм, второе зажимное приспособление с рамками до 400×400 мм монтируется над камерой 3. Последнее используется для позитивного формования.

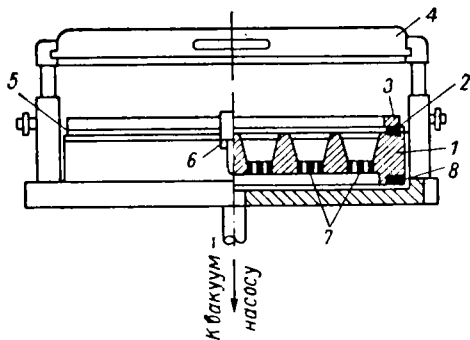


Рис. VII-7. Простейшая вакуумформочная установка:

1 — матица; 2 — уплотнительная прокладка; 3 — рамка; 4 — электронагреватель; 5 — заготовка термопласта; 6 — эксцентриковый затвор; 7 — отверстие в матице; 8 — резиновая прокладка.

Чтобы эффективнее использовать машину, на ней следует формировать два типоразмера изделий — одно большее по простой негативной схеме и другое меньшее по позитивной схеме.

Двухсекционные вакуум-пневмоформовочные машины предназначены для независимого формования двух изделий и, соответственно, состоят из двух секций, смонтированных на одной общей станине и обслуживаемых одним комплектом вакуум-компрессорного оборудования. В каждой секции может осуществляться как негативное, так и позитивное вакуумное формование с предварительным раздувом заготовки. В последнем случае на столе дополнительно монтируется пневмокамера.

На рис. VII-9 представлена схема устройства двухсекционной машины KuVF (ГДР) размером 800×1000 мм. В левой секции показана основа для позитивного формования вокруг вакуум-пуансона 6. На станине 9 (в средней ее части) закреплены натяжные рамки, в которые укладываются обе заготовки, закрепляемые вручную зажимными рамками. Инфракрасные нагреватели 4 и 5 установлены на станине на салазках и после укладки заготовок могут с помощью гидроцилиндров 2 и 3 перемещаться из крайних

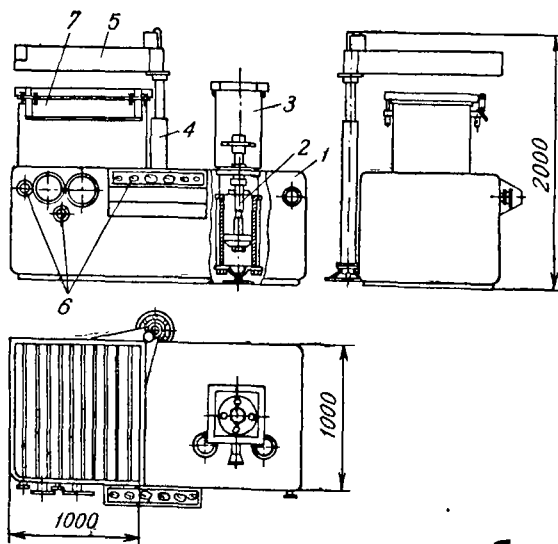


Рис. VII-8. Схема вакуум-пневмоформовочной машины VP-257 (ВНР):

1 — станция; 2 — пневмоцилиндр пуансона для позитивного формования; 3 — пневмокамера; 4 — стойка нагревателя; 5 — инфракрасный нагреватель; 6 — приборы управления; 7 — стол.

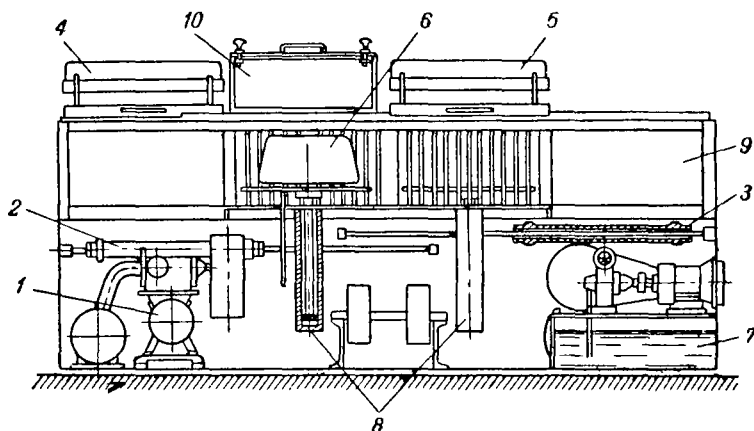


Рис. VII-9. Двухсекционная вакуум-пневмоформовочная машина KuVF (ГДР):

1 — вакуум-компрессорная установка; 2 и 3 — гидроцилиндры для перемещения нагревателей; 4 и 5 — нагреватели; 6 — пуансон; 7 — станция гидропривода; 8 — цилиндры подъема формы; 9 — станция; 10 — пневмокамера.

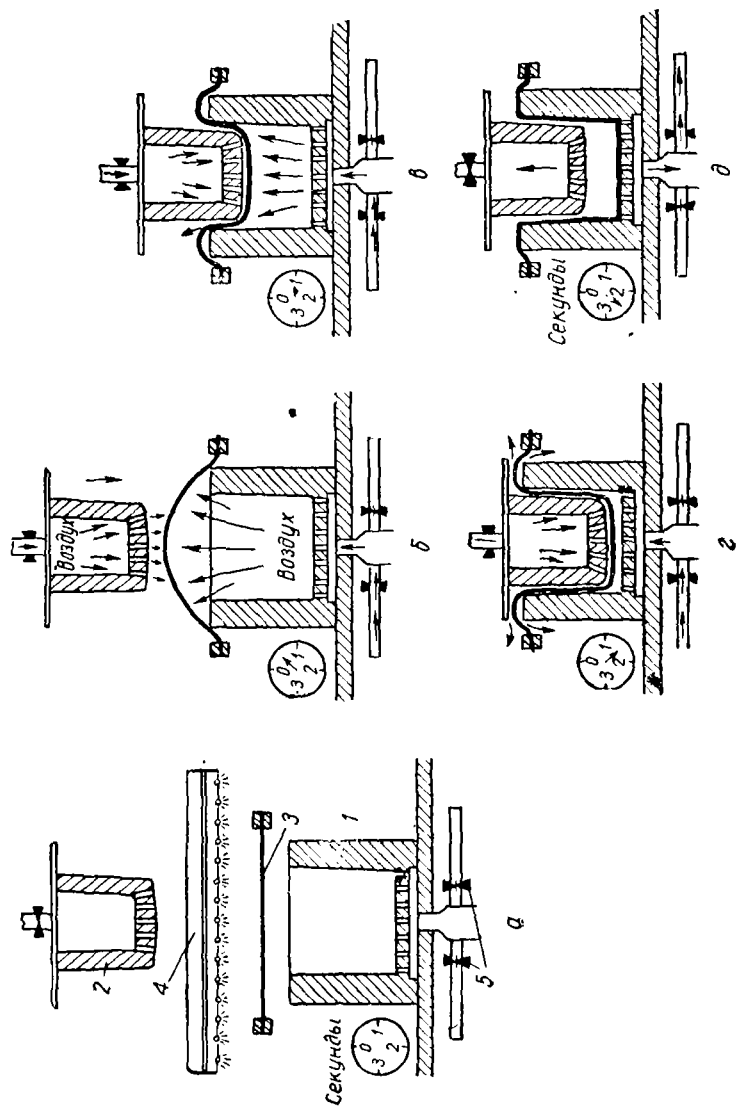


Рис. VII-10. Схема вакуумного формирования листового полиэтилена:
1 — матрица; 2 — пуансон; 3 — заготовка; 4 — нагреватель; 5 — вентиль.

позиций в средние (т. е. над заготовками). По окончании выдержки нагреватели отходят в крайнее положение, и в случае позитивного формования производится раздув заготовки в камеру 10; в случае негативного формования сразу же с помощью гидроцилиндров 8 осуществляется подъем форм до прижатия их к заготовке. Далее включается вакуум, заготовки втягиваются в вакуум-матрицу или, соответственно, присасываются вокруг вакуум-пуансона и выдерживаются необходимое для охлаждения время. По завершении охлаждения зажимные рамки освобождаются, в формы подается сжатый воздух для выталкивания изделий, которые затем снимаются с машины.

Для осуществления перечисленных операций внутри станины смонтированы станция гидропривода 7 и вакуум-компрессорная установка 1.

Способ вакуумформования с воздушной подушкой. Изготовление обычными методами вакуумформования изделий из кристаллических полимеров, например полиэтилена, осложняется разностенностью изделия и трудностью извлечения его из формы. В таком случае применяют способ вакуумформования с пневмовытяжкой и воздушной подушкой (рис. VII-10).

Нагретая заготовка вначале подвергается предварительной пневмовытяжке подачей снизу горячего сжатого воздуха (б). Нагретый воздух подается также сверху через отверстия в пуансоне.

Таким образом, создается воздушная подушка под и над заготовкой, мешающая контакту термопласта со стенками формы. Происходит предварительное формование изделия (в и г). Окончательно изделие оформляется после прекращения подачи сжатого воздуха и включения вакуума (д).

Когда требуется перепад давлений более 1 кгс/см^2 , нередко проводят процесс комбинированного пневмо-вакуумного формования. При этом формование заготовки происходит как посредством вакуума, создаваемого в матрице под листом термопласта, так и под действием сжатого воздуха, подаваемого сверху.

Пневмоформовочные установки **Способ обжима с неподвижным пуансоном.** Установка пневмокамеры для обжима деталей на неподвижном пуансоне смонтирована на плите четырехколонного пресса (рис. VII-11).

Подогретую в электрошкафу заготовку укладывают на неподвижный пуансон 4, установленный на нижней плите 3 пресса. При опускании подвижной плиты 6 с закрепленной на ней пневмокамерой 5 происходит предварительное формование изделия. Окончательное его формование производится после подачи в камеру сжатого воздуха через шланг 1. По охлаждении изделия камеру открывают и вынимают его. Пуансон и пневмокамера сменные. В данном случае пуансон служит для получения гофрированных рассеивателей света из органического стекла.

Способ пневмоформования с подвижным пуансоном (рис. VII-12). Разогретая заготовка зажимается при опускании верхней камеры 2 и подогревается излучателем 4, после чего при

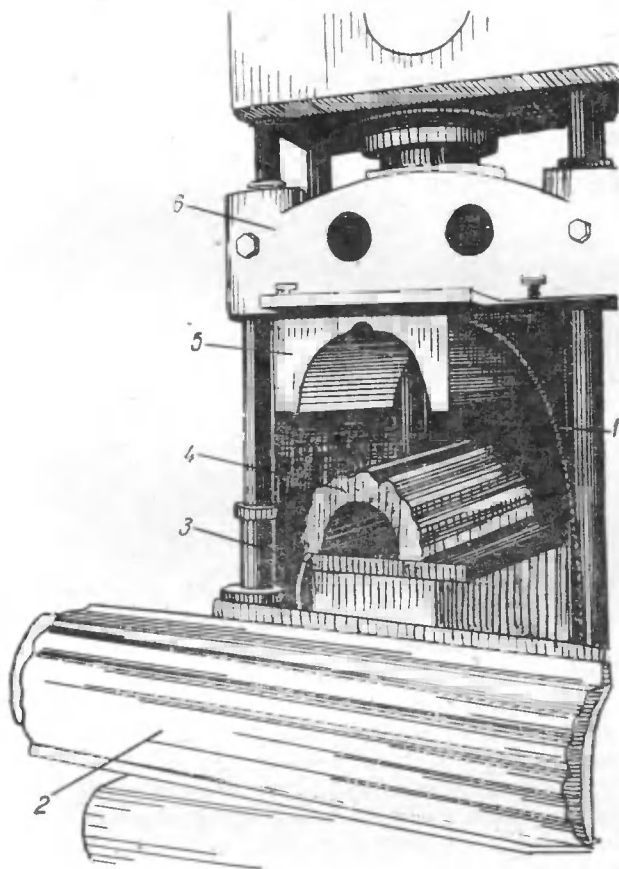


Рис. VII-11. Установка пневмокамеры на четырех-
колонном прессе верхнего давления:

1—шланг для впуска воздуха; 2—извлеченное готовое изделие;
3—плита (стол) прессы; 4—пуансон; 5—пневмокамера; 6—по-
движная плита прессы.

поднятии пуансона 6 происходит предварительная механическая вытяжка заготовки. Окончательное формирование изделия, т. е. «пневматический обжим», производится сжатым воздухом, подаваемым в верхнюю камеру.

Способ пневмоформования путем вдавливания пуансона в предварительно раздутую сферу. Особый интерес представляет способ

получения изделий свободным выдуванием с последующей протяжкой и обжимом в период ввода пуансона в сферу. Этот метод применяют для изготовления различных цельнотянутых изделий большой глубины с равномерными стенками.

Разогретую заготовку 2 при помощи рамки 3 закрепляют на пневматической камере 4 и, подавая в нее сжатый воздух, подвергают материал свободному выдуванию вверх (рис. VII-13, а). При

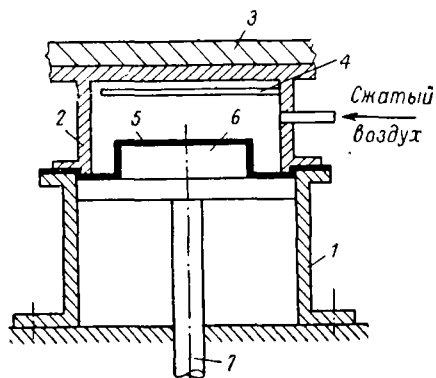


Рис. VII-12. Схема пневмоформования с подвижным пуансоном:

1 — нижняя камера; 2 — верхняя камера; 3 — подвижная плита; 4 — подогреватель; 5 — изделие; 6 — пуансон; 7 — толкатель.

этом происходит наибольшая вытяжка в центре заготовки. Затем опускают пуансон 1. Толщина изделия в местах соприкосновения с пуансоном фиксируется, дальнейшая вытяжка происходит за счет наименее вытянутых частей заготовки, около ее кромок.

Таким образом, получают изделия с равномерной предварительно заданной толщиной стенок и очень глубокой вытяжкой. При формовании подобных изделий пуансон необходимо подогревать до 50—60° С.

На рис. VII-13, б показано формование изделий этим же методом, но не при опускании, а при подъеме пуансона; на рис. VII-13, а — формование изделий при подъеме пуансона с тыльной стороны сферы с последующим оформлением ее по верхней матрице.

Формование с предварительным поддувом обеспечивает создание развитой поверхности заготовки, что способствует получению изделий сложной конфигурации и исключает возможность образования складок при этом у изделий прямоугольной конфигурации. Этот способ нашел широкое применение во всех комбинированных процессах формования.

Свободное выдувание в прямообразной форме допускает применение незначительного давления воздуха, а зажим заготовки может быть выполнен без пресса. Пример такой формы показан на рис. VII-14.

Круглая заготовка из органического стекла разогревается до требуемой температуры и зажимается между камерой 1 и кольцом 5. В камеру через штуцер подается сжатый воздух, который раздувает через кольцо заготовку в сферу требуемого диаметра. Для получения правильной оптической поверхности необходим очень равномерный разогрев заготовки и точное регулирование давления воздуха.

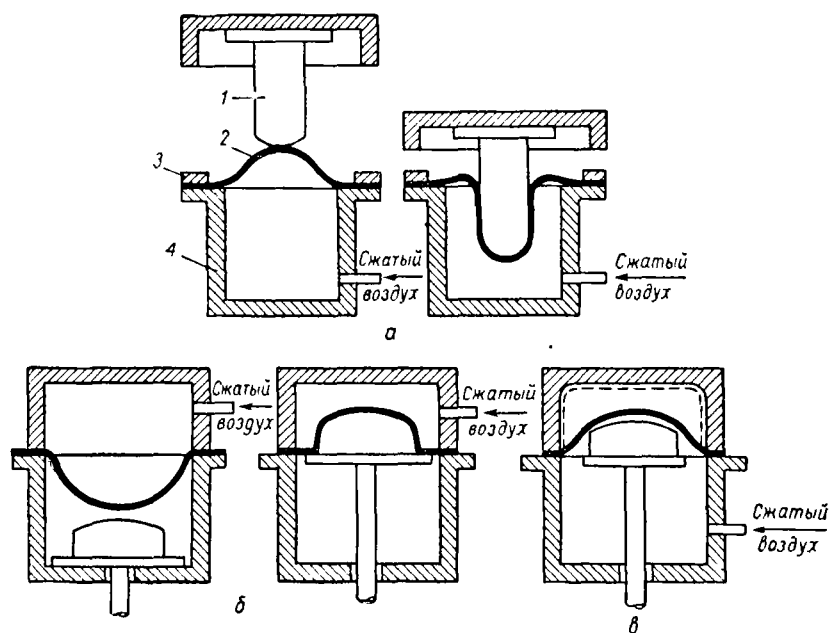


Рис. VII-13. Схемы использования способа поддува для получения изделий большой глубины с равномерными стенками:

1 — пуансон; 2 — заготовка; 3 — рамка; 4 — пневмокамера.

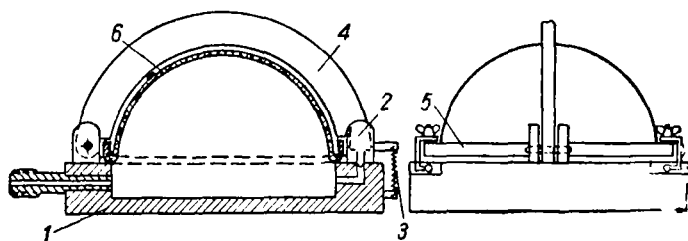


Рис. VII-14. Прямая форма с автоматическим устройством:

1 — камера; 2 — клапан; 3 — стягивающая пружина; 4 — рычаг; 5 — кольцо; 6 — сфера.

Легкий рычаг 4 приподнимается раздуваемой сферой, и через хорошо притертый клапан 2 стравливается избыточное давление воздуха. Если при этом давление упадет настолько, что сфера оседет, то клапан закроется, давление в камере вновь возрастет и сфера раздуется снова до соприкосновения с рычагом. Таким образом, в камере автоматически поддерживается давление, нужное для точного выдувания сферической поверхности, до тех пор, пока изделие не достигнет конструктивной жесткости. Формование способом свободного выдувания до заданного размера сферы в промышленных условиях можно контролировать при помощи фотоэлемента, взаимодействующего с пневмоклапаном.

**Комбинированное
формование
в универсальных
камерах**

Комбинированным формованием называют такой процесс, в котором в одной форме совмещены операции выдувания и пневматического обжима, а также, если необходимо, протяжки, штампования, вырубки, опрессовки и т. д. Этот способ является производительным и экономичным, так как позволяет получать относительно сложные изделия за один рабочий цикл.

Для комбинированного формования обычно применяют специальные универсальные камеры, состоящие из двух частей: верхней камеры, подобной камерам опорных и реберных форм, но приспособленной для укрепления в ней твердого пуансона или матрицы, и нижней, подобной камере проймообразной формы для свободного выдувания или формы для протяжки и штамповки, но предназначенной для помещения в нее твердой матрицы или подвижного пуансона. Так как пуансоны и матрицы можно легко менять, то одну и ту же универсальную камеру можно использовать для получения самых разнообразных изделий, выпускаемых как в массовом масштабе, так и мелкими сериями.

Схема такой камеры показана на рис. VII-15. В нижнюю камеру 6, снабженную штуцерами для подачи и выпуска воздуха, вкладывают матрицу 5, опирающуюся на кольцо 7. Матрица может быть изготовлена из менее прочного материала, чем камера. На нижней камере при помощи кольца 4 закрепляют разогретую заготовку термопласта 3. В дне нижней камеры расположено отверстие с заглушкой 8, предназначенное для подвижного штока. В верхней камере, также снабженной штуцерами для подачи и выпуска воздуха, укрепляют пустотелый или сплошной пуансон 2 с отверстиями для прохода воздуха.

Вначале при поднятой верхней камере разогретая заготовка выдувается вверх давлением сжатого воздуха, подаваемого в нижнюю камеру, после чего опускается верхняя камера с пуансоном и производится вытяжка.

Если к моменту смыкания верхней и нижней камер заготовка остынет, ее подогревают, подавая в верхнюю камеру горячий воз-

дух. По окончании формования изделие охлаждают холодным воздухом.

Возможности использования универсальной камеры представлены на рис. VII-16.

На позиции *а* показано получение конического изделия протяжкой без применения давления воздуха. Если при этом создать небольшое давление воздуха в нижней камере, то изделие будет иметь не коническую, а вогнутую боковую поверхность.

На позиции *б* показано формование на пуансоне изделия с глубокой вытяжкой в поддутую сферу, подобно тому, как это делалось в специальной форме (см. рис. VII-13).

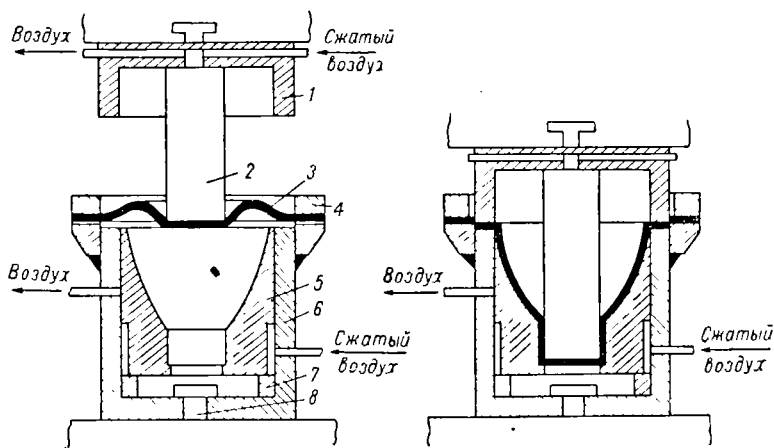


Рис. VII-15. Универсальная пневматическая камера:

1—верхняя камера; 2—пуансон; 3—заготовка; 4—кольцо; 5—матрица; 6—нижняя камера; 7—опорное кольцо; 8—заглушка отверстия для штока.

Универсальную камеру можно использовать для свободного выдувания изделий строго сферической формы (позиция *в*), а также для получения изделий особо сложной конфигурации. Так, на позиции *г* показано изготовление шарообразного изделия с горловиной. В нижнюю камеру вкладывают разборную матрицу из легкого сплава или другого достаточно прочного материала, а в верхней камере укрепляют пустотелый конический пуансон с отверстиями для впуска сжатого воздуха. Вначале заготовка свободно выдувается вверх, затем пуансон протягивает ее в матрицу, штампует дно изделия и одновременно своей конической поверхностью уплотняет протянутую заготовку в конической проеме матрицы. Подачей сжатого воздуха через пуансон раздуваются стенки изделия до соприкосновения с матрицей. Изделие после охлаждения вынимают из нижней камеры вместе с матрицей.

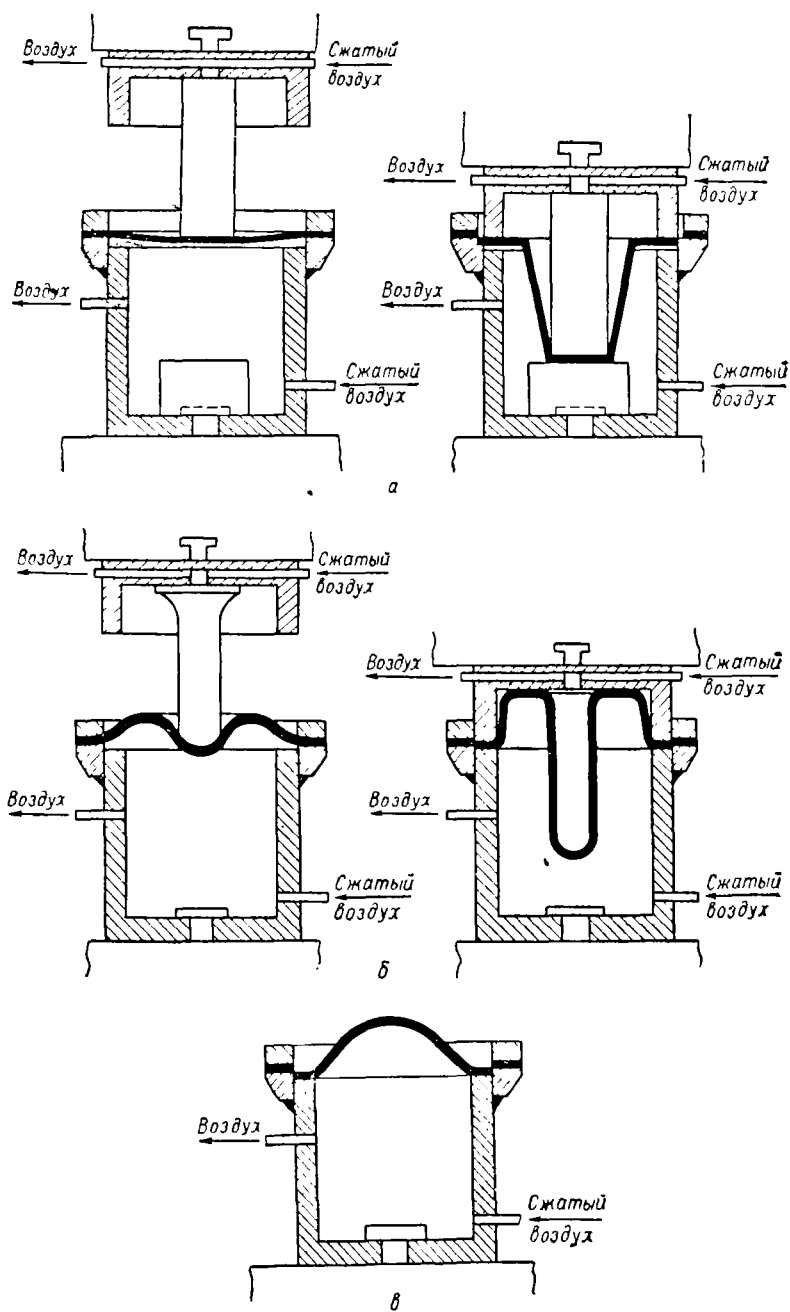


Рис. VII-16. Схемы формования с использованием универсальной камеры.

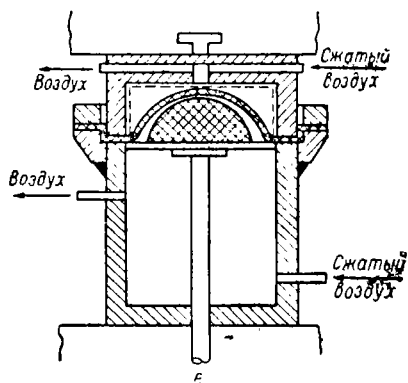
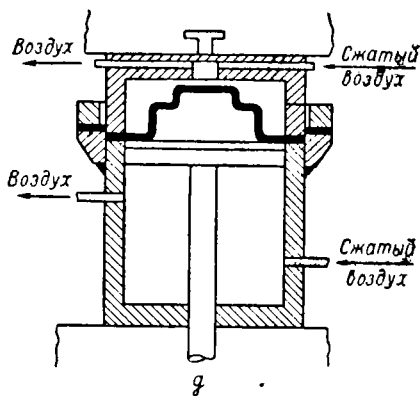
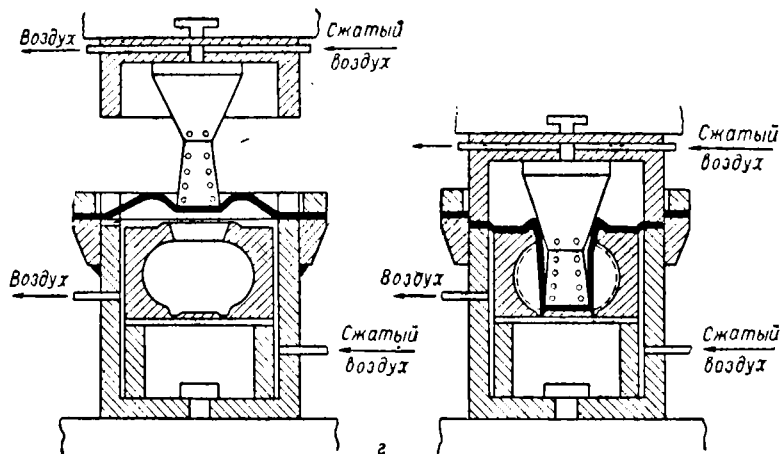


Рис. VII-16.

Использование универсальной камеры для получения изделий способом протяжки и обжима с применением подвижного пуансона представлено на позиции *д*, а на позиции *е* — применение ее для получения изделий способом протяжки пуансоном с поддувом в ограниченную форму, расположенную в верхней камере.

**Комплексное
механизированное
пневматическое
формование**

Типовая установка для пневмоформования термопластов рис. VII-17 состоит из электрошкафа 1 для нагрева заготовок, щита управления прессом 3, гидравлического пресса, установки для подогрева воздуха, установки для подогрева воздуха 7, компрессорной станции и т. д.

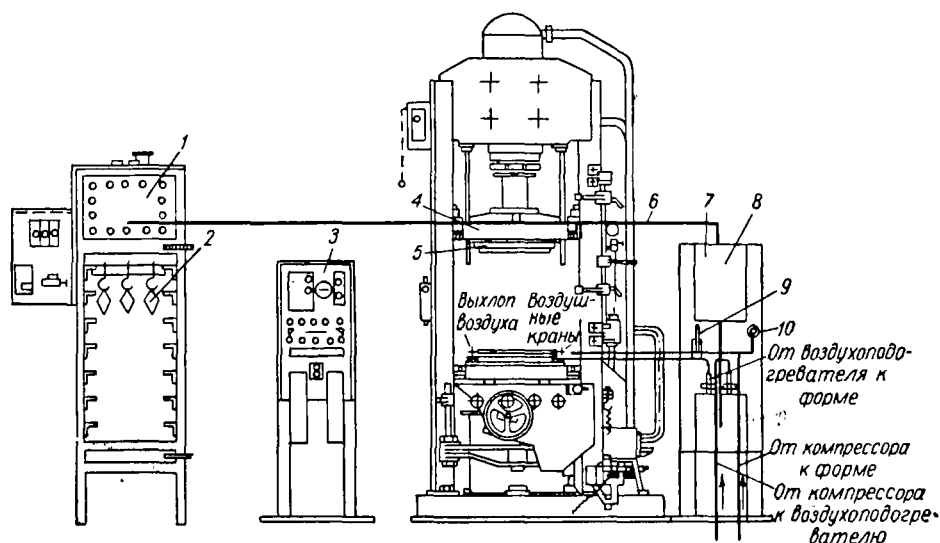


Рис. VII-17. Схема типовой установки для пневмоформования:

1 — электрошкаф; 2 — заготовки; 3 — щит управления прессом; 4 — траверса гидравлического пресса; 5 — форма; 6 — воздушная линия; 7 — установка для подогрева воздуха; 8 — прибор для автоматического регулирования температуры; 9 — термометр; 10 — манометр.

В СССР разработана комплексная механизированная технология, позволяющая объединить все виды переработки листовых термопластов с получением готового изделия на одном агрегате. На рис. VII-18 представлена схема такой установки для пневмоформования листовых термопластов.

Заготовка термопласта 2 разогревается в электропечи 1 до высокоэластического состояния, транспортируется в форму, установленную на плите гидравлического пресса 3 (в случае прессового метода), где подвергается пневмоформованию и одновременно обработке избыточных кромок и отверстий штамповыми и другими устройствами, а также локальной опрессовке. Отформован-

ное изделие охлаждается в форме до конструктивной жесткости, после чего извлекается из формы. Изделие окончательно обрабатывается на специальном устройстве для механической очистки заусенцев 4 и после осмотра контролером ОТК подается на склад.

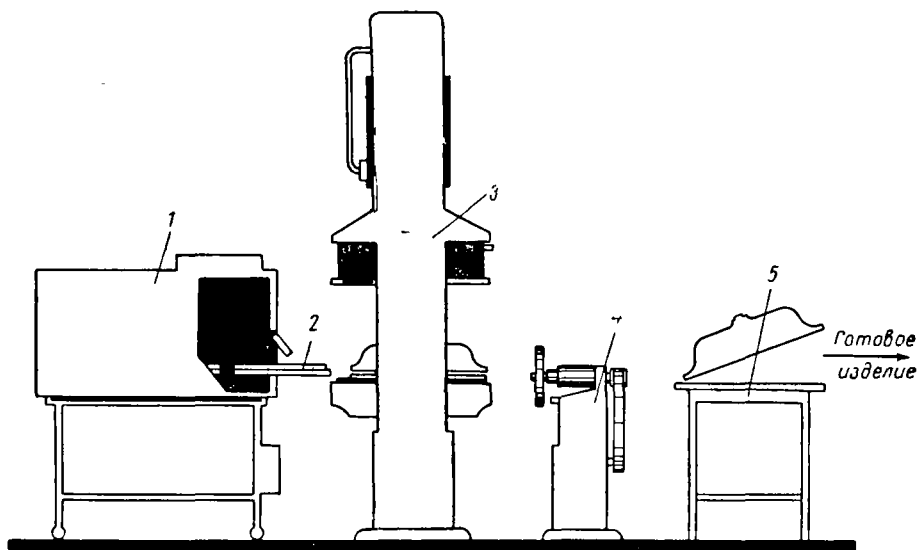


Рис. VII-18. Схема механизированной пневматической установки:

1 — электропечь; 2 — заготовка; 3 — гидравлический пресс; 4 — устройство для механической очистки заусенцев; 5 — участок контроля готовых изделий.

Высокопроизводительные методы формования

Многопозиционные машины. Трехпозиционная роторная машина представляет собой револьверный стол, разделенный на три равных сектора. В первом секторе происходит загрузка листа и выгрузка изделия, во втором — нагревание листа, а в третьем — формование и охлаждение изделия.

Схема четырехпозиционной полуавтоматической машины непрерывного действия представлена на рис. VII-19. На транспортере с гидравлическим приводом установлены четыре прижимные рамы. При движении транспортера каждая рама останавливается строго против одного из четырех исполнительных механизмов, производящих соответственно: выемку готового изделия и закладку нового листа (*I*), двухсторонний нагрев листа (*II*), формование листа на пуансоне (*III*) и охлаждение готового изделия струей воздуха (*IV*). Управление рабочим циклом осуществляют семь реле времени. Производительность такой машины 80—100 изделий в час.

Комбинированная технологическая линия. При обычных методах вакуум- и пневмоформования листовые и пленочные термопласты необходимо подогревать до высокоэластического состояния. В комбинированных технологических линиях формование производится непосредственно после выхода термопласта из шнекмашины

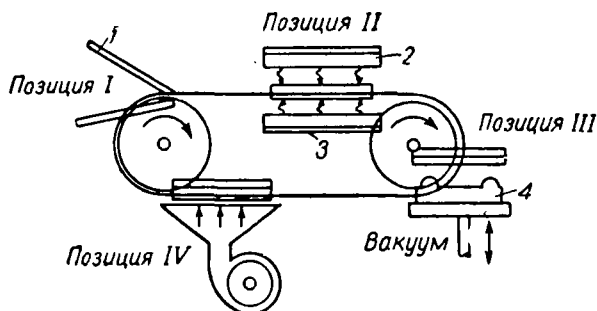


Рис. VII-19. Полуавтоматическая четырехпозиционная машина непрерывного действия:

1 — зажимное устройство; 2, 3 — верхний и нижний нагреватели; 4 — плита формы; 1 — загрузка и выгрузка; II — нагревание; III — вакуумформование; IV — охлаждение.

с прорезной щелевой головкой или из каландра, что устраняет необходимость дополнительного подогрева материала.

На рис. VII-20 представлена схема технологической линии для непрерывной экструзии и формования. Листовой термопласт

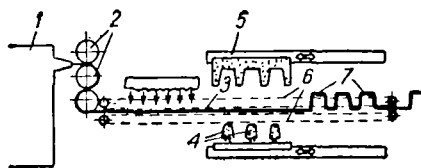


Рис. VII-20. Схема комбинированной технологической линии:

1 — экструдер; 2 — гладильные валки; 3 — листовой термопласт; 4 — подвижный пуансон; 5 — подвижная матрица; 6 — цепной транспортер; 7 — готовые изделия.

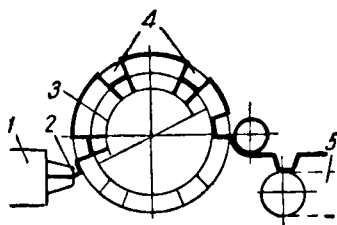


Рис. VII-21. Схема комбинированной технологической линии:

1 — экструдер; 2 — пленочный термопласт; 3 — вакуумный барабан; 4 — формы; 5 — транспортное устройство.

поступает из экструдера 1 и гладильных валков 2 на цепной транспортер 6. Формование происходит при сближении пуансона 4 с матрицей 5, после чего отформованное изделие вместе с формой перемещается на некоторое расстояние для охлаждения. Пуансон и матрица отходят от изделия и возвращаются в исходное поло-

жение, а готовые изделия поступают в вырубное устройство, отделяющее их от остатков материала.

На рис. VII-21 пленочный термопласт по выходе из экструдера 1 поступает на вакуумный барабан 3, по окружности которого установлены формы 4. Пленка с отформованными изделиями охлаждается и транспортным устройством 5 подается на вырубку, а в некоторых случаях также на заполнение изготовленных емкостей продуктами и на закупорку.

ШТАМПОВАНИЕ

Группа процессов, при которых лист термопластичного или слонстого материала, нагретый до температуры размягчения, формуются при помощи пуансона и матрицы, носит название штампования. При штамповании происходит изменение формы и размеров листовых заготовок, сопровождающееся перемещением и перераспределением объема материала. Этим методом изготавливают разнообразные изделия незамкнутой пространственной формы. Разновидностями метода являются гибка, отбортовка и тиснение.

Для проведения процесса штампования пригодны обычные механические и гидравлические прессы небольшой мощности, поскольку формование изделий производится под небольшим давлением ($0,4—10,5 \text{ кгс/см}^2$).

В зависимости от материала, из которого изготовлен пуансон, а также конструкции матрицы или рамки различают следующие виды штампования: 1) жестким пуансоном, 2) эластичным пуансоном, 3) жестким пуансоном с использованием прижимной рамки, 4) жестким пуансоном через протяжную матрицу и 5) рельефное штампование, т. е. выдавливание цифр и знаков на поверхности материала.

При выборе материала для изготовления штампа необходимо учитывать количество изделий, которые будут в нем формироваться. Штампы выполняют из дерева, лигнофоля или других неметаллических материалов при производстве небольшого количества изделий и из металлов — в случае массового формования изделий.

Схема штампования при помощи жесткого пуансона и матрицы изображена на рис. VII-22. Зазор между пуансоном и матрицей равен толщине штампуемого материала с допуском $\pm 10—15\%$.

Схема штампования эластичным резиновым пуансоном представлена на рис. VII-23. Штамп состоит из матрицы 2 и пуансона 3, заключенного в обойму 4. Такие штампы применяют при изготовлении изделий с точным и четким рельефом и небольшими углублениями.

Схема штампования при помощи жесткого пуансона 6, матрицы 1 и прижимной рамки 5 изображена на рис. VII-24. Во избежа-

ние повреждения поверхности материала матрицу и рамку оклеивают замшей или байкой (2 и 4). Листовой материал 3, прижатый рамкой, формируется на поверхности матрицы.

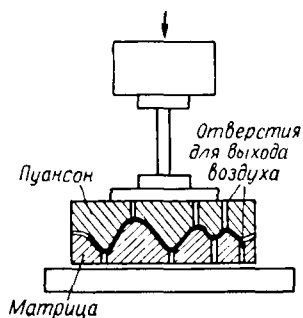


Рис. VII-22. Схема штампования при помощи жесткого пуансона.

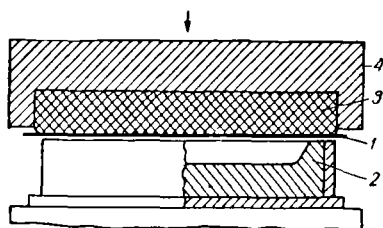


Рис. VII-23. Схема штампования эластичным пуансоном:

1 — заготовка; 2 — матрица; 3 — пуансон; 4 — обойма.

Схема штампования жестким пуансоном через протяжную матрицу изображена на рис. VII-25. Штамп состоит из пуансона 4,

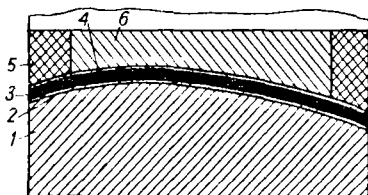


Рис. VII-24. Схема штампования с помощью прижимной рамки:

1 — матрица; 2 и 4 — замша или байка; 3 — заготовка; 5 — прижимная рамка; 6 — пуансон.

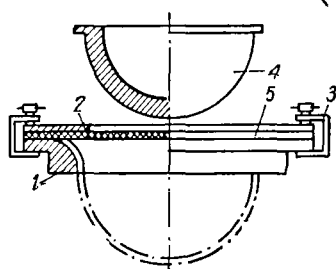


Рис. VII-25. Схема штампования жестким пуансоном через протяжное кольцо:

1 — протяжное кольцо-матрица; 2 — прижим; 3 — струбины; 4 — пуансон; 5 — заготовка.

матрицы или протяжного кольца 1 и прижима 2. Нагрев заготовок производят в специальном пакете, состоящем из протяжного кольца и прижима, между которыми с помощью струбин 3 зажата заготовка.

Технологический процесс Основными факторами процесса штампования служат температура, давление и время формования, которое рекомендуется проводить при больших скоростях деформаций и быстром охлаждении изделия.

Производство открытых полых изделий сопровождается вытяжкой, которая может протекать как с утонением стенок изделия, так и без него. Глубина вытяжки для круглых изделий составляет $\sim 4/5$ диаметра штампа.

Процесс штампования состоит из операций:

- 1) резки листов на заготовки;
- 2) нагрева заготовок;
- 3) собственно штампования;
- 4) обработки изделий.

При раскрое заготовок перед резкой учитывают усадку материала.

Нагрев заготовок производят электрообогревом, лампами инфракрасного излучения, горячим воздухом, паром или перегретой водой в разнообразных нагревательных устройствах (печи, термостаты, плиты и др.). Так как большое значение имеет равномерность нагрева заготовок, в печах и термостатах установлены

Таблица VII-2
Режим нагрева пластмасс перед штампованием
и гибкой

Материал	Температура нагрева, °C	Продолжительность нагрева, мин на 1 мм толщины
Термопласты		
Органическое стекло *	130—190	1,5—3
Винипласт	120—140	2—2,5
Сополимер СНП	130—140	—
Полиэтилен		
низкой плотности	95—110	—
высокой »	120—125	2—3
Слоистые пластики		
Текстолит	130—150	1,5—2
Стеклотекстолит	140—160	2—2,5
Гетинакс	140—150	2—2,8
Стекловолокнит	170—180	2—2,5

* Заготовки из органического стекла перед укладкой на штамп охлаждают на воздухе в течение 30—90 сек. Температура и продолжительность нагрева зависят от сорта органического стекла.

вентиляторы. Постоянство работы нагревательных приборов обеспечивается приборами автоматического регулирования.

Нагрев заготовок из термопластичных и слоистых материалов перед штампованием и гибкой производят в условиях, приведенных в табл. VII-2.

Сформованные изделия охлаждают в штампах до 40—45° С.

Изделия из целлулоида штампуются из нагретых заготовок на необогреваемых штампах. Заготовки из целлулоида перед штампованием нагреваются на плитах, обогреваемых паром или горя-

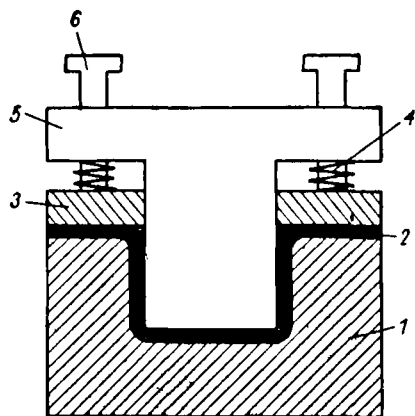


Рис. VII-26. Схема штампования целлулоида:

1 — матрица; 2 — заготовка; 3 — прижим; 4 — пружина; 5 — пуансон; 6 — колонка.

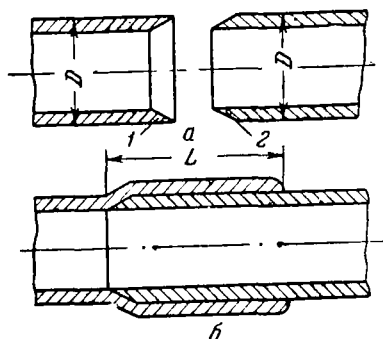


Рис. VII-27. Раструбное соединение труб из твердого поливинилхлорида:

а — концы труб, подготовленные под соединение; б — готовое соединение; 1 — внутренняя и 2 — наружная фаски.

чей водой. Нагрев заготовок производят на плитах под грузом для лучшего контакта заготовки с нагревательной плитой.

Схема штампования целлулоида изображена на рис. VII-26. Заготовка перед вытяжкой прижимается к матрице, а затем формируется при помощи пуансона. После вытяжки избыточную часть заготовки обрезают по контуру изделия, извлекают его из штампа и затем подвергают обработке. При непрерывной работе штампа температура его повышается за счет контакта с горячими заготовками.

Процессы массового производства изделий штампованием стремятся автоматизировать. Примером штамповочного автомата может служить агрегат для производства тары для пищевых продуктов (стаканы и крышки из винипластовой пленки толщиной 0,3—0,5 мм).

Агрегат состоит из двух бесконечных цепей, на которых укреплены многогнездные полуформы. В них при помощи периодически опускающегося штока формуются изделия, которые затем вырубаются из листа. Нагретая пленка винипласта непрерывно движется между цепями. Готовые изделия выталкиваются из машины и подаются на ленточный транспортер. Производительность машин: при изготовлении стаканов 70—80 тыс. изделий, при изготовлении крышек 110 тыс. изделий за смену.

Частным случаем формования является неразъемное раструбное соединение труб (рис. VII-27). На концах труб, образующих раструбное соединение, делают фаски под углом 20—45°, причем на внутренней трубе фаску делают на внешней, а на наружной трубе — на внутренней поверхности. Конец одной трубы нагревают до 120—140°С в ванне, заполненной песком, глицерином или маслом, а также с помощью трубчатых нагревателей, обогреваемых элементами электросопротивления, паром или другими источниками тепла.

Конец холодной трубы вдвигают внутрь нагретого конца второй трубы, при этом образуется раструб. Глубина раструбных соединений зависит от диаметров труб.

Различные сосуды, воздуховоды и другие изделия из нагретых листовых заготовок получают изгибанием на оправках (болванках). При мелкосерийном производстве оправки изготавливают из дерева, при массовом производстве — из металлов. Минимальный радиус изгиба должен быть не меньше двукратной толщины листа. Усилия при гибке термопластов незначительны. Сформованные заготовки сваривают.

Гибку фторлонов производят на холоду в штампах под большим давлением, затем штамп вместе с заготовкой прогревают при 120—130°С и охлаждают до 50—60°С.

Если необходимо произвести гибку небольшого участка, например для образования углов, нагревают не весь лист, а только тот участок, который изгибается. В таких случаях для нагрева пользуются трубками с электрообогревом.

Гибку широко используют при монтаже трубопровода, когда из отрезков труб приходится изготавливать отводы, утки, отступы, скобы, калачи и другие фасонные части. Для этого трубы перед гибкой заполняют горячим песком и нагревают, закрыв их концы пробками. Нагретые трубы изгибают по шаблонам или в формах. Простейшие шаблоны представляют собой два ряда гвоздей, вбитых в деревянное основание по заданному контуру.

Отбортовку труб производят формованием разогретых концов их в специальных штампах. Концы труб при отбортовке нагревают обычно в глицериновой ванне.

Тиснение Тиснение цифр и знаков на изделиях может быть выполнено одновременно со штампованием или на готовом уже отштампованном изделии. В первом случае знаки и цифры гравировются на детали штампа, соприкасающейся с изделием, во втором — применяют специальные штампы для клеймения. При тиснении часто нагревают не только материал, но и штамп. Тиснение цифр и рисунков также может быть выполнено путем пневматического или вакуумного формования.

Глава
VIII

ПРОИЗВОДСТВО КРУПНОГАБАРИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ

В производстве крупногабаритных изделий из стеклопластиков применяют следующие исходные материалы:

1. Связующие, в качестве которых часто используют ненасыщенные полиэфир, эпоксидные и модифицированные фенолоформальдегидные смолы.

2. Мономеры, служащие сшивающими агентами; чаще всего это стирол и метилметакрилат, а также ненасыщенные полиакрилатные эфиры.

3. Инициаторы — перекиси и гидроперекиси. Наибольшее распространение получили перекись бензоила и гидроперекись изопропилбензола (гипериз). Поскольку многие инициаторы взрывают при ударе и нагревании, их применяют обычно в сочетании с пластификатором (например, диметилфталатом) в виде паст.

4. Активаторы (ускорители, промоторы), в качестве которых применяют нафтенат кобальта, диметиланилин и другие соединения с восстановительными свойствами, ускоряющими распад инициаторов и образование радикалов. Соответствующий подбор инициатора и активатора определяет температуру отверждения (рис. VIII-1).

5. Наполнители — стекломаты, стеклоткани и резаное стекловолокно. Для предохранения стекловолоконистых материалов от атмосферных и механических воздействий их обрабатывают гидрофобизирующими составами, например раствором винилтрихлорсиланола или комплексной хромовой соли метакриловой и соляной кислот и хромоксихлорида $\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)\text{COO}(\text{C}_6\text{H}_5)_2 \cdot \text{Cr}(\text{OH})\text{Cl}_2$ (волан). Такая обработка, кроме того, улучшает сцепление стеклонаполнителя со связующим.

За рубежом в качестве наполнителя армированных изделий нередко применяют также асбест.

В отдельных случаях в состав композиции вводят пластификаторы, красители и тиксотропные добавки, например белую сажу (мелкодисперсную двуокись кремния), которая препятствует стеканию связующего с вертикальных поверхностей.

Крупногабаритные армированные изделия изготавливают следующими основными способами: 1) контактным, 2) формованием с резиновым мешком, 3) автоклавным, 4) способом пресскамеры, 4) прессованием с упругим пуансоном, 5) методом намотки, 6) центробежным, 7) прессованием на гидропрессах и 8) пневматическим напылением.

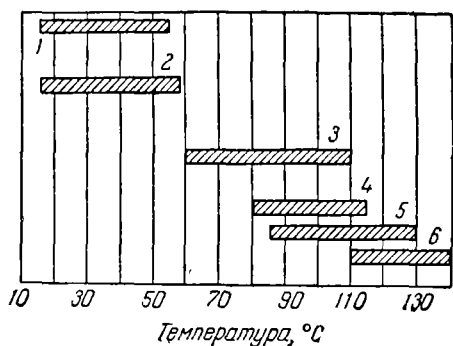


Рис. VIII-1. Температура отверждения полиэфиров в зависимости от примененного отвердителя:

1—перекись бензоила и диметиланилин; 2—перекись циклогексанола или смесь перекиси диклогексанола-2 с нафтенатом кобальта, или перекиси метилэтилкетона с нафтенатом кобальта; 3—перекись бензоила и перекись лаурила; 4—гидроперекись *трет*-бутила; 5—*трет*-бутилпербензоат; 6—перекись *трет*-бутила.

Контактный способ получения изделий из стеклопластиков состоит из следующих операций:

- 1) изготовления формы;
- 2) приготовления связующего, подсушивания стеклонаполнителя, а также разметки и раскроя его;
- 3) нанесения связующего и стеклонаполнителя на форму;
- 4) отверждения стеклопластика;
- 5) снятия изделия с формы и его механической отделки.

Формы изготавливают из дерева, слоистых пластиков, гипса, цемента, металлов и других материалов.

Гипсовые формы, обладающие малой прочностью, применяют в основном для производства опытных конструкций. При мелкосерийном производстве применяют формы из дерева, которое является дешевым и легко обрабатываемым материалом, однако они могут изменять свои размеры при значительных колебаниях влажности и температуры окружающей среды.

При крупносерийном производстве целесообразно применять формы из слоистых пластиков или из металлов, причем чаще всего для этой цели используют листовую сталь толщиной 0,8—2 мм и листы алюминия толщиной 3—6 мм. Металл формы не должен корродировать или оказывать нежелательное каталитическое или ингибирующее действие на процесс отверждения смолы. При изготовлении крупных форм из малопрочных материалов, например гипса или пластилина, их армируют металлической сеткой или проволокой.

Полиэфирные или другие смолы, во избежание их желатинизации, смешивают с отвердителями непосредственно перед изготовлением изделий. На рис. VIII-2 представлена схема приготовления связующего.

Раствор полиэфирной смолы в мономере подается со склада или из сборника 1 в смеситель 2. Туда же из бункера 3 через дозатор 4 подается тиксотропная добавка (белая сажа). Полученная смесь поступает в смесители 5, в один из которых добавляется активатор, а в другой — инициатор. Перемешанные смеси полимера с инициатором и полимера с активатором поступают в отдельные расходные баки 6 и на тележке подвозятся к участку

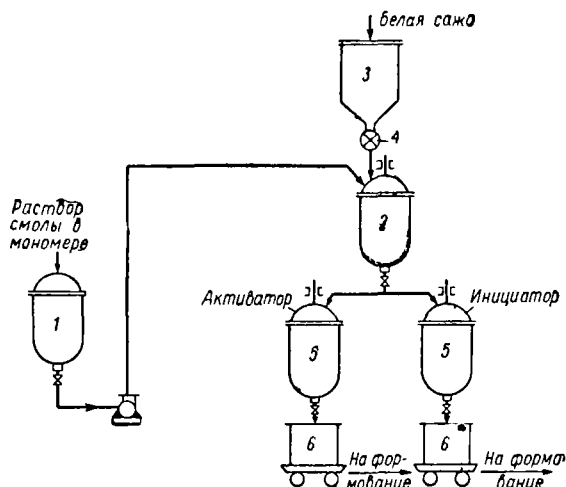


Рис. VIII-2. Схема приготовления полиэфирного связующего:

1 — сборник; 2 и 5 — смесители; 3 — бункер; 4 — дозатор;
6 — расходные баки.

формования. Этот метод смешения применяется в тех случаях, когда смеси полимера с активатором и полимера с инициатором наносятся на поверхность формы в отдельности. Если же на форму наносится уже перемешанная композиция, то приготовленные в смесителях 5 смеси полимера с инициатором и активатором сливаются в следующий смеситель, где получается готовое связующее.

Подсушивание стеклонаполнителя (стеклоткани, стекломата, стекложгута) проводят в течение 3 суток при 30—40° С. Гидрофобизированный наполнитель сушат при 130—140° С не менее 1 ч. Высушенный стеклонаполнитель не следует хранить до формования более 10—12 ч, причем относительная влажность помещения не должна превышать 65% во избежание увлажнения наполнителя.

Разметку стеклоткани и стекломата производят карандашом с помощью линеек, лекал или трафаретов, после чего приступают к раскрою. При ручном раскрое пользуются острым ножом или

ножницами. Связующее в бидонах, бочках или по трубопроводу подают к месту формования.

Прежде всего на поверхность формы наносят разделительный слой из поливинилового спирта в водно-спиртовом растворе (5% поливинилового спирта, 35% воды и 60% этилового спирта) или эмульсии воска в бензине. Разделительный слой предотвращает прилипание связующего к форме. Нередко разделительный слой делают комбинированным. Вначале наносят эмульсию воска в бензине, полученное покрытие после высыхания располировывают и через 10—15 мин наносят раствор поливинилового спирта. Через 1,5—2 ч при комнатной температуре образуется ровное глящее покрытие. Если разделительный слой нанесен некачественно, то его смыывают растворителем (обычно ацетоном) и наносят новый.

На разделительный слой кистью или пульверизатором наносят первый, так называемый декоративный слой связующего, а после желатинизации первого слоя — второй.

По окончании нанесения связующего аккуратно, без складок, укладывают первый слой раскроенной стеклоткани. Выступы, ребра, углы предварительно покрывают пропитанным связующим стекложгутом, так как в таких местах трудно плотно уложить стеклоткань и там могут образоваться воздушные пузыри. Стеклоткань плотно прикатывают к форме металлическим или резиновым валиком с гладкой или ребристой поверхностью. Для уменьшения ингибирующего действия воздуха в процессе отверждения связующего и ослабления прилипания к ролику прикатку нередко производят через целлофан.

После укладки первого слоя стеклоткани дается выдержка для желатинизации в течение 1—1,5 ч. Более продолжительная выдержка нежелательна, так как может вызвать ухудшение адгезии. Затем наносят следующий слой связующего и стеклонаполнителя и повторяют эти операции до достижения требуемой толщины, которая не должна превышать 8—10 мм, так как при отверждении более толстых слоев выделяется такое количество тепла (отверждение — экзотермический процесс), что происходит частичная деструкция связующего и снижение прочности пластика. Если требуется получить большую толщину изделия, то при толщине 8—10 мм производят полное отверждение, после чего наносят следующие слои, предварительно обработав отвержденный слой шкуркой для лучшей адгезии.

Окончив нанесение всех слоев связующего и наполнителя, изделие подвергают окончательному отверждению, длительность и температура которого зависят от характера связующего и природы инициатора и активатора. Сущность отверждения заключается в сшивке цепей полимера с образованием трехмерной структуры. Холодное отверждение производят при 20—22° С в течение 3—5 суток. Повышение температуры способствует сокращению времени

отверждения. Горячее отверждение проводят в обогреваемых камерах, чаще всего при температуре 120—130° С.

Готовое изделие снимают с формы, причем разделительный слой остается на изделии и служит защитной оболочкой при механической обработке его. Однако сохранение этого слоя более 3—5 дней затрудняет удаление его растворителем после окончательной отделки изделия. Механическая обработка заключается в зачистке кромок на фрезерных станках или другими способами.

Контактный метод применяется для изготовления из стеклопластиков лодок, небольших катеров, кузовов автобусов и других изделий. Этот метод прост и не требует сложного оборудования.

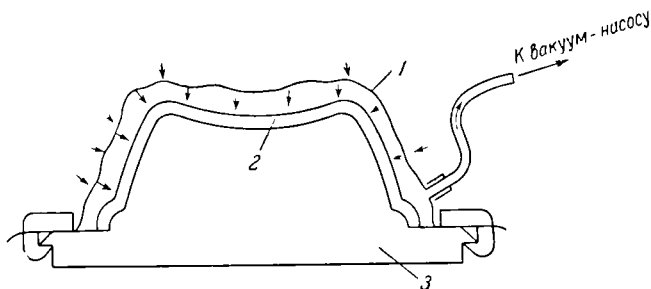


Рис. VIII-3. Схема вакуумного формования с применением резинового чехла:

1 — резиновый чехол; 2 — заготовка из пропитанной связующим стеклоткани; 3 — форма.

Недостатками контактного метода являются невысокая производительность, ручная трудоемкая работа, невысокое качество изделий вследствие неравномерной укладки связующего и наполнителя. Кроме того, в состав связующего часто входят стирол и другие мономеры, пары которых токсичны.

Формование с резиновым чехлом (рис. VIII-3) проводят следующим образом. На форму, изготовленную из дерева или слоистых пластиков и снабженную каналами для отсоса воздуха, наносят связующее и стеклонаполнитель таким же образом, как при контактном методе. После этого на нее надевают резиновый чехол и вакуум-насосом через ниппели, расположенные на чехле, отсасывают воздух как из внутренней части формы, так и из полости между чехлом и пластмассой. Отверждение производится посредством электрообогревателей, расположенных в стенках формы или другими способами. При таком формовании на поверхности изделия остаются следы от складок резинового чехла. Более ровная поверхность изделия получается при укладке на пластмассу тонкой металлической оболочки — цулагн.

Автоклавный способ формования (рис. VIII-4) целесообразно применять при изготовлении большой серии крупных и сложных изделий. Тележку, на которой установлена форма со стеклопластом, цулагой и резиновым чехлом, закатывают в автоклав, аналогичный по конструкции автоклавам, применяемым для вулканизации каучука в производстве резиновых изделий. Давление прессования, равное $5\text{--}25\text{ кгс/см}^2$, создается паром, горячей водой или, реже, сжатым воздухом, нагнетаемым в автоклав. Обогрев в процессе формования осуществляется паром или водой, или — в

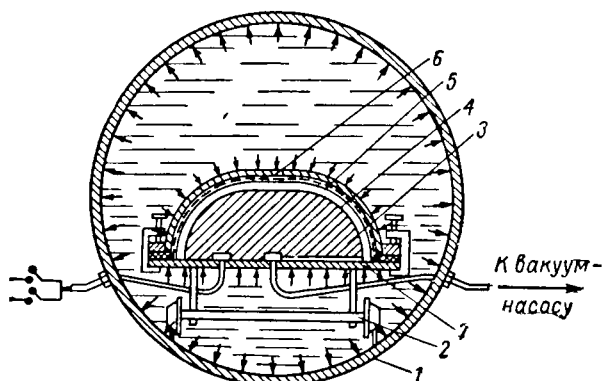


Рис. VIII-4. Схема автоклавного способа формования:

1 — автоклав; 2 — тележка; 3 — болванка прессформы; 4 — пакет стеклоткани, пропитанной связующим; 5 — цулага с электрообогревом; 6 — резиновый чехол; 7 — плита основания.

случае применения сжатого воздуха — при помощи электрообогревателей, расположенных в форме. Изделия, получаемые при автоклавном способе формования, обладают высокими механическими свойствами.

Способ пресскамеры (рис. VIII-5) используется для серийного изготовления изделий с плотной структурой и высокими физико-механическими свойствами, а также для изготовления многослойных изделий, включающих в себя сотовую или пенопластовую прослойку и стеклотекстолитовые оболочки.

На жесткую металлическую матрицу укладывают заготовку из пропитанной связующим стеклоткани или стекломата. Пуансоном служит резиновый чехол, заполненный при формовании сжатым воздухом, паром или горячей водой, создающими давление $1,5\text{--}4\text{ кгс/см}^2$. Резиновый чехол прижимают к матрице металлической плитой, закрепляемой откидными болтами. Обогрев осуществляется либо в термощкафу, в который загружают всю установку, либо паром или горячей водой, которые используются для создания давления прессования.

Многослойные изделия получают методом пресскамеры по схеме, изображенной на рис. VIII-6.

Вначале — стадия I — изготавливают наружную стеклотекстолитовую оболочку. На решетчатый металлический каркас 6 одевают резиновый чехол 3, на который укладывают предварительно пропитанную связующим и высушенную стеклоткань 2 (позиция а). Полученную заготовку помещают в матрицу 4 и зажимают плитой. Во внутреннюю полость заготовки подают сжатый воздух, а снаружи пакет обогревается паром, вследствие чего происходит формование наружной оболочки (позиция б).

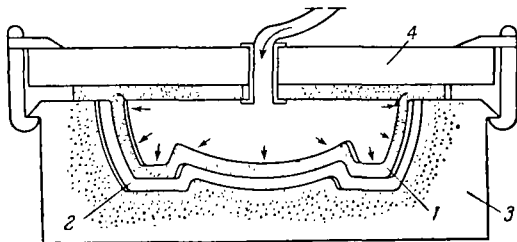


Рис. VIII-5. Схема прессования способом пресскамеры:

1 — резиновый чехол; 2 — заготовка из пропитанной связующим стеклоткани; 3 — матрица; 4 — плита.

Затем — стадия II — изготавливается внутренняя стеклотекстолитовая оболочка. На пуансон 1 укладывают пропитанную связующим и высушенную стеклоткань 2, после чего одевают резиновый чехол 3 (позиция а). В пространство между плитой и пуансоном подают пар, а воздух между чехлом и слоем стеклоткани отсасывается вакуум-насосом. Происходит формование внутренней оболочки.

В не снятую с матрицы наружную оболочку — стадия III — заливают композицию для получения пенопласта, после чего вставляют пуансон с отформованной внутренней оболочкой и производят вспенивание и отверждение пенопласта — стадия IV. Таким образом получают трехслойное изделие с промежуточным слоем из пенопласта.

Для получения многослойных изделий нередко применяют вместо пенопласта пропитанные связующим и отвержденные соты. Можно одновременно формовать стеклотекстолитовые оболочки и приклеивать к ним соты, однако полученные таким образом изделия имеют неровную поверхность и значительные затеки связующего в соты. Поэтому обычно формуют одну из стеклотекстолитовых оболочек, на которую затем помещают соты и пакет пропитанной стеклоткани, и целиком формуют изделие.

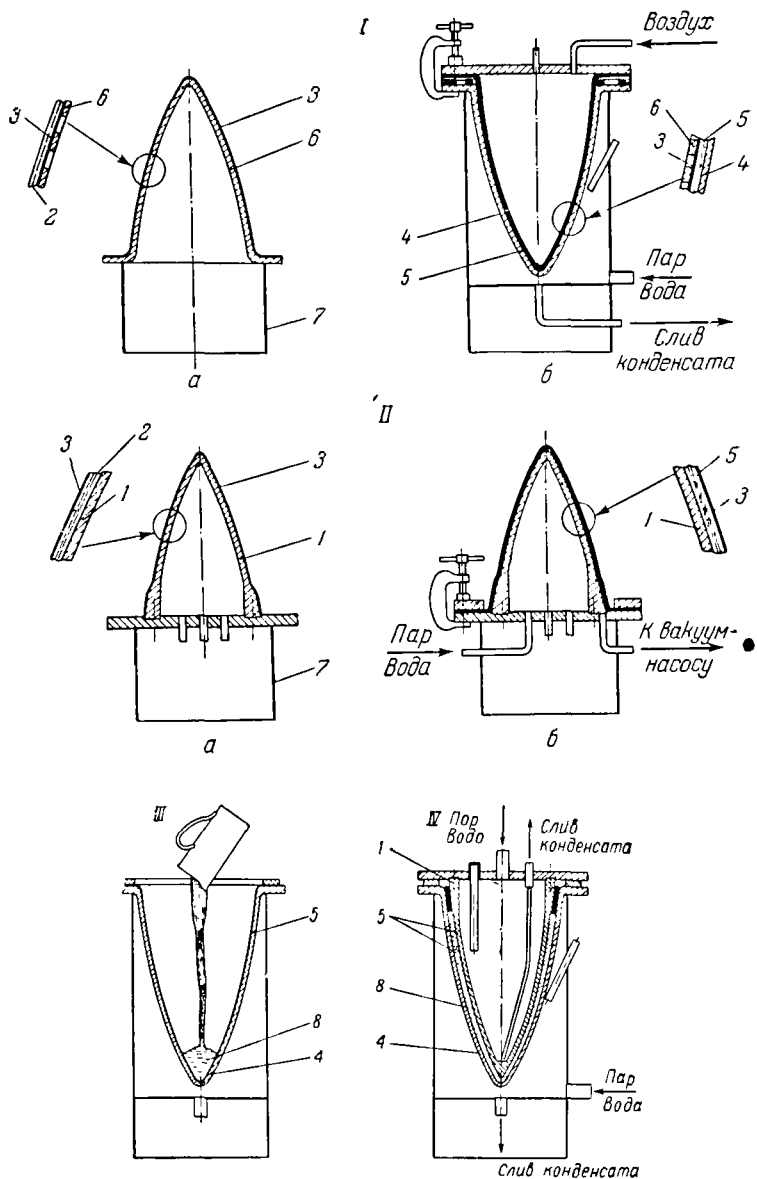


Рис. VIII-6. Схема формирования трехслойных изделий:

I — пуансон; 2 — слои стеклоткани, пропитанной связующим; 3 — резиновый чехол; 4 — матрица; 5 — формируемая оболочка; 6 — форма для жесткости; 7 — подставка; 8 — наполнитель.

Прессование с упругим пуансоном схематически изображено на рис. VIII-7. При этом способе применяют сплошной резиновый пуансон 3 и металлическую матрицу 1. Заготовку 2 из пропитанной связующим стеклоткани закладывают в матрицу, после чего пуансон опускается, создавая равномерное давление.

Метод намотки применяют для изготовления стеклотекстолитовых труб. Основной рабочей частью намоточного агрегата является вращающийся стальной дорн, на который предварительно укладывается пленка, облегчающая снятие трубы. Затем поверх пленки наматываются стеклянные нити, сходящие с бобин, расположенных на каретке, совершающей возвратно-поступательное движение вдоль дорна. При сходе с бобин нити (или стеклоленты) покрываются связующим. Отформованная труба покрывается защитной целлофановой оболочкой и поступает в камеру отверждения.

Применяют и другие методы изготовления стеклотекстолитовых труб, из которых наибольший интерес представляют методы непрерывного получения труб на вертикальных и горизонтальных машинах.

Центробежный метод формования применяют для изготовления цилиндрических и конических изделий: топливных баков, обтекателей радиолокаторов, цилиндрических контейнеров, труб большого диаметра и других изделий диаметром до 1100 мм, высотой до 3000 мм и толщиной 2—12 мм.

Центробежная машина (рис. VIII-8) представляет собой карусельный стол, на котором располагаются формы на вращающихся опорах. Скорость вращения формы 280—1000 об/мин. Внутри такой формы вертикально перемещается зонд, через который распыляется связующее и резаное стекловолокно. Стекломасса центробежной силой распределяется на внутренней стенке формы, причем, замедляя движение зонда и утолщая таким образом слой наносимого материала, можно получать ребра жесткости. Скорость перемещения зонда (до 750 мм/мин) регулируется кулачковым механизмом. Когда нанесение стеклошассы закончено, внутрь формы при помощи быстродействующего механизма вводится резиновый чехол, надутый воздухом, и происходит отверждение пластмассы при нагревании, после чего изделие автоматически извлекается из формы.

Стержни и профили из стеклопластиков получают на непрерывно действующей установке (рис. VIII-9). Стеклоровница 1

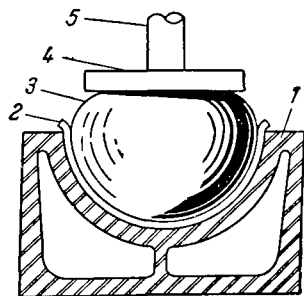


Рис. VIII-7. Схема прессования с упругим пуансоном:

1 — матрица; 2 — заготовка из пропитанной связующим стеклоткани; 3 — пуансон; 4 — верхняя плита; 5 — плунжер пресса.

проходит через ванну 2 со связующим и форму 3, в которой происходит предварительное формование, склеивание отдельных стеклянных прядей и желатинизация связующего. Затем изделие поступает в электропечь 4, где окончательно отверждается и, наконец, — на тянущее устройство 6.

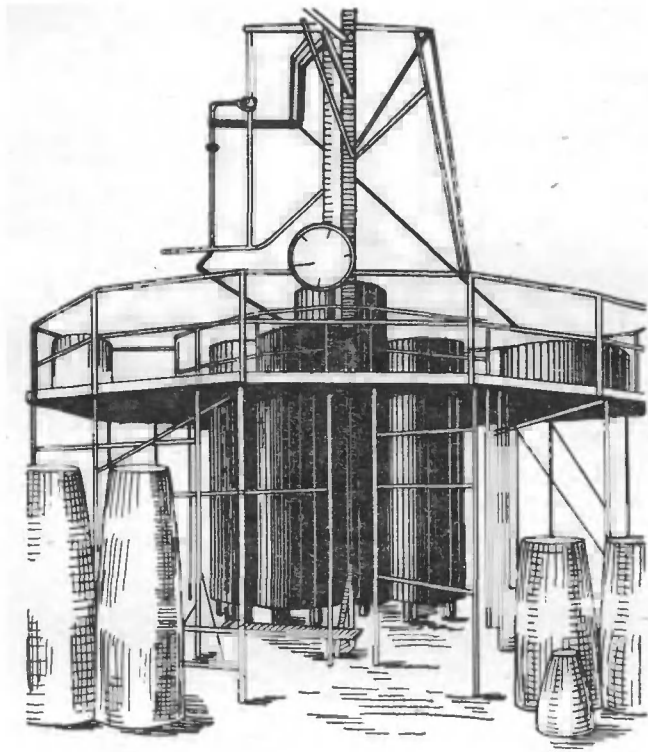


Рис. VIII-8. Центробежная формовочная машина для изготовления труб из стеклопластиков.

На рис. VIII-10 представлена схема непрерывного производства плоских (а) и профилированных (б) листов из стеклопластиков. Стекломат или стеклоткань сматывается с рулона 1 и проходит пропиточную ванну 2, после чего на отжимных валиках 3 удаляется избыток связующего. Пропитанные листы спрессовываются и отверждаются либо на этажных прессах, либо на валковых профилирующих установках. Резка листа производится специальными ножами.

Процесс формования сложных изделий из рубленого стекловолокна состоит из двух стадий: предварительного формования и прессования.

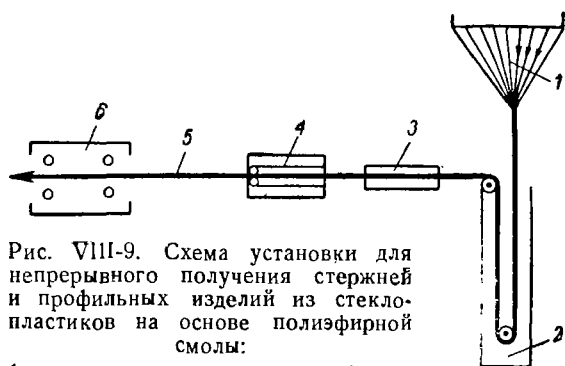


Рис. VIII-9. Схема установки для непрерывного получения стержней и профильных изделий из стеклопластиков на основе полиэфирной смолы:

1—пряди из стеклянного волокна; 2—пропиточная ванна; 3—труба для предварительного формования; 4—электропечь; 5—стержень из стеклопластика; 6—тянущее устройство.

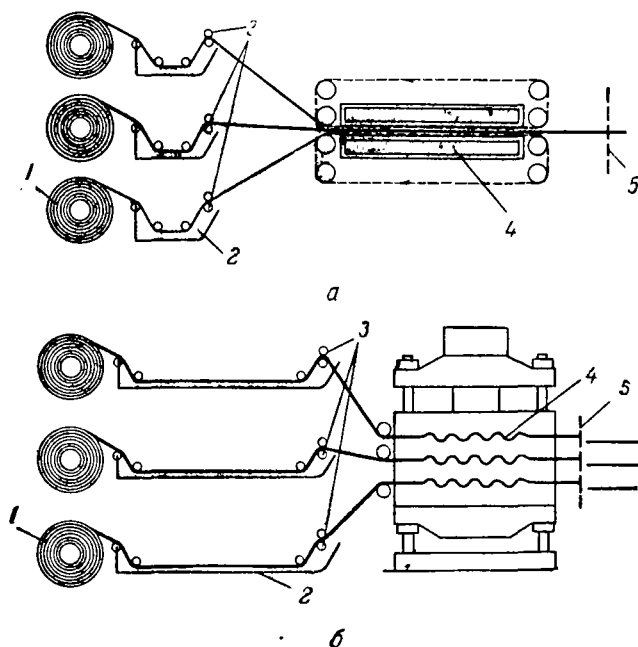


Рис. VIII-10. Схема получения листов из стеклопластиков — плоских (а) и профилированных (б):

1—рулоны стекловолоконистого наполнителя; 2—пропиточные ванны; 3—отжимные валики; 4—обогревательная камера; 5—ножи для резки стеклопластиков.

Предварительное формование стекловолокна перед запрессовкой можно производить в воздушной или водной среде.

Схема установки для воздушного формования представлена на рис. VIII-11. Стекловолокно подвергается резке на установке 5, после чего волокна длиной 30—50 мм засасываются вентилятором 3 в камеру 1, в нижней части которой расположен вращающийся стол 2 с формой 4, изготовленной из стального перфорированного листа. Через воронку 6 подается связующее в порошкообразном или жидком виде. Во втором случае растворы или эмульсии полистирола, поливинилацетата, полиэфиров или других полимеров наносятся под давлением 3—4 кгс/см² из распылителей, расположенных по периметру камеры. Связующее, добавляемое в количестве 5—10% от веса стекловолокна, служит для придания заготовке прочности и для удержания стекловолокна на вертикальных стен-

Рис. VIII-11. Схема установки для воздушного формования:

1 — камера; 2 — вращающийся стол; 3 — вентилятор; 4 — форма; 5 — устройство для резки стекловолокна; 6 — воронка.

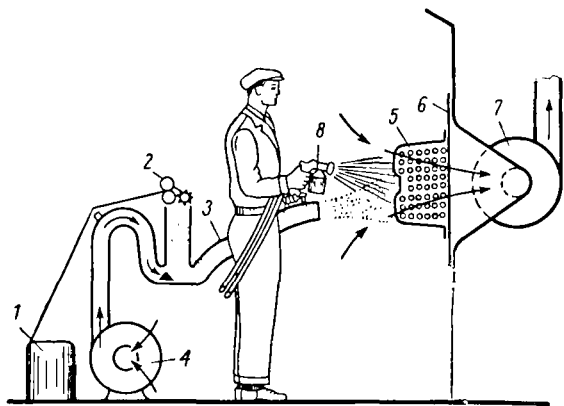


Рис. VIII-12. Схема установки для предварительного формования шлангов способом:

1 — бобина с ровницей; 2 — режущее устройство; 3 — гибкий шланг; 4 — нагнетающий вентилятор; 5 — перфорированная форма; 6 — вращающийся стол; 7 — вытяжной вентилятор; 8 — пистолет-распылитель.

ках формы. Заготовка, пропитанная жидким связующим, сушится в токе горячего воздуха 4—8 мин при температуре 120—180°С. В качестве связующего можно также применять плавкие синтети-

ческие волокна, например полиамидные, вводимые в заготовку в количестве 2—3% от веса стекловолокна.

Разновидностью воздушного способа предварительного формования является шланговый способ (рис. VIII-12). Ровница сматывается с бобины 1, разрезается режущим устройством 2, и через гибкий шланг 3 нарезанное стеклянное волокно направляется воздушным потоком от вентилятора 4 на перфорированную форму 5, укрепленную на вертикальном вращающемся столе 6. Связующее наносится пистолетом 8.

Предварительное формование заготовки в водной среде производится в баке с мешалкой (рис. VIII-13), куда по трубопроводу 1 подается водная суспензия стекловолокна, содержащая связующее и поверхностно-активные вещества, способствующие адсорбции связующего на волокне. В баке установлена перфорированная или сетчатая форма 3, соединенная телескопической трубой 4 с насосом 5. При выкачивании воды стекловолокно со связующим оседает на поверхности формы. После получения заданной толщины слоя форма выдвигается вверх, заготовку снимают и высушивают.

При формовании в водной среде достигается более точная воспроизводимость толщины стенок и веса заготовки, однако процесс осложняется необходимостью сушки заготовки.

Такая установка может обслуживать два-три пресса и имеет производительность до 150 кг/ч материала.

Полученная различными способами стеклозаготовка в дальнейшем пропитывается связующим и подвергается окончательному формованию различными способами, применяющимися для изготовления крупногабаритных изделий.

Следует отметить, что если условия эксплуатации изделий допускают содержание целлюлозы в материале, то формуется смесь стеклянных и целлюлозных волокон, причем последние скрепляют заготовку и тогда можно не вводить связующих. Применение целлюлозных волокон снижает вес изделий и удешевляет их.

Высокой степенью механизации отличается метод пневматического напыления стеклопластика посредством передвижной установки, на которой смонтированы режущее устройство для стекловолокна, вентилятор, распылитель и емкости для связующего и растворителя. Стекловолокно сматывается с бухт и режется на

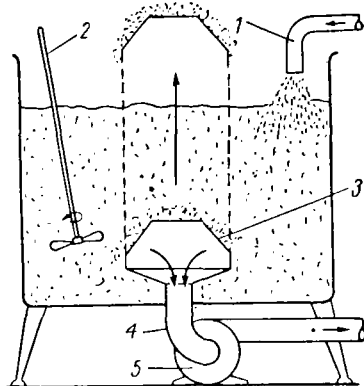


Рис. VIII-13. Схема установки для предварительного формования в водной среде:

1 — трубопровод для подачи суспензии стекловолокна в воду; 2 — мешалка; 3 — перфорированная форма; 4 — телескопическая труба; 5 — насос.

волокна длиной 10—90 мм, которые подаются воздухом к распылителю. Распылитель имеет три сопла: центральное для выхода стекловолокна и два боковых, одно для подачи смеси связующего с активатором, другое — смеси связующего с инициатором. Смешение компонентов происходит на поверхности формы или перед ней в воздухе. Соответственно в агрегате имеются отдельные емкости для смеси связующего с инициатором, для смеси связующего с активатором и для растворителя (обычно ацетона), который служит для чистки машины. Затем нанесенная стекломасса подвергается отверждению.

Применяются также установки для напыления стеклопластиков, в которых напыляющая установка неподвижна, а формы вращаются.

Окончательное оформление изделий производится методом компрессионного прессования полученной заготовки на гидропрессах. Применяемые в качестве связующего для изготовления изделий из стеклопластиков полиэфир и некоторые другие полимеры не требуют высокого давления, поэтому крупногабаритные изделия можно прессовать на прессах невысокой мощности (~ 50 тс).

Техника безопасности в производстве изделий из стеклопластиков. Специфические вредности процессов получения изделий из стеклопластиков обусловлены наличием в связующем горючих и токсичных веществ и образованием стеклянной пыли при операциях раскроя и механической обработки изделий.

Стирол, часто применяемый в качестве «сшивающего» агента для ненасыщенных полиэфиров, оказывает раздражающее действие на слизистые оболочки, может приводить к поражению печени, вызывает функциональные расстройства нервной системы. При действии на кожу стирол вызывает сухость и может приводить к дерматитам. Предельно допустимая концентрация паров стирола в воздухе не более 5 мг/м^3 .

Гидроперекись изопропилбензола (гипериз) представляет собой огне- и взрывоопасную ядовитую жидкость, которую необходимо хранить и транспортировать в сухих стальных бочках емкостью 100—250 л. Хранение производится в отдельных отсеках при температуре, не превышающей 30°C . Окислы свинца вызывают бурное разложение гипериза, поэтому ни в коем случае нельзя применять свинцовые прокладки и пайку.

Переокись бензонла также является взрывоопасным материалом, ее следует хранить в стеклянных бутылках, залитых водой или спиртом.

Стекловолоконная пыль, возникающая при резке стеклонаполнителя и при механической обработке изделий, может привести к образованию дерматитов, поэтому отделения раскроя стеклоткани и механической обработки изделий должны быть оборудованы приточно-вытяжной вентиляцией и местными отсосами.

Спецодежда для формовщиков изделий из стеклопластиков состоит из халата или куртки с брюками, фартука, косынки или шапочки. На руки одевают перчатки резиновые или из других материалов. Часто применяют смачивание рук специальной пастой на основе казеина или карбоксиметилцеллюлозы, что после 1—2-минутного подсыхания создает на руках защитную пленку — так называемые биологические перчатки. Эту операцию повторяют несколько раз в смену и обязательно перед ее началом и после обеденного перерыва.

ПЕРЕРАБОТКА ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ СПЕКАНИЕМ

Для процесса спекания характерно то, что расплавляется лишь поверхность частиц полимера, ядро же остается твердым. Соединение частиц, следовательно, происходит только по их поверхности.

ПЕРЕРАБОТКА ФТОРЛОНОВ

Практические неплавкость и нерастворимость фторлона-4 препятствуют применению для его переработки методов прессования литья под давлением и экструзии в том виде, как они применяются для полиэтилена, полистирола и других типичных термопластов. При переработке фторлона-4 используют его способность спекаться при температуре 360—380°С.

Изготовление изделий из фторлона-4 состоит из следующих основных операций: таблетирования, спекания и механической обработки.

Таблетирование заключается в том, что рыхлый волокнистый порошок фторлона-4 загружают в прессформу и прессуют на гидравлическом прессе без нагревания. При исходном насыпном весе (насыпной плотности) фторлона-4, равном 0,4—0,45 г/см³, чтобы изделие по возможности не имело пор, следует получить таблетку плотностью не ниже 1,83 г/см³. Удельное давление таблетирования при этом должно быть 250—400 кгс/см² (обычно 300). Давление > 400 кгс/см² нецелесообразно, так как, помимо большого расхода энергии, может произойти холодная вытяжка полимера. В дальнейшем при спекании подвижность молекул полимера повысится и может произойти частичное восстановление его начальной формы, что приведет к деформации (в частности, к короблению и растрескиванию).

Порошок загружают в прессформу и разравнивают (ввиду его низкой текучести возможно различное уплотнение в разных частях таблетки, обуславливающее при спекании различную усадку, что тоже приводит к короблению и растрескиванию). При получении высоких таблеток рекомендуется применять давление с двух сторон, т. е. матрицу изготовлять сквозной при двух пуансонах. Для выравнивания плотности таблетки после подачи полного дав-

ления дают выдержку в течение 2—3 мин и более. Движение пуансона при смыкании должно быть медленным и равномерным (не более 6—7 см/мин) особенно к концу этой операции. Готовую таблетку проверяют на отсутствие трещин, при наличии которых ее размалывают и размол подают на повторное таблетирование.

Спекают таблетки в электропечах при 360—380° С. Более высокая температура приводит к частичной или полной деструкции фторлона-4 с выделением токсичных газов. Можно применять печи различной конструкции, обеспечивающие равномерный прогрев, разность температур в отдельных участках печи не должна превышать 5 град. Целесообразно использовать электропечи с вращающимся подом, выносными электрообогревающими спиралями, рециркуляцией нагретого воздуха и терморегулирующим устройством. Таблетки помещают на вращающийся под печи (без форм) и нагревают до полной прозрачности, которая свидетельствует о полном спекании. Продолжительность спекания ~ 1 ч на 3 мм толщины таблетки. При толщине > 25—30 см возможно образование вздутий и других дефектов из-за перегрева, поэтому для толсто-стенных изделий рекомендуется применять пленочный фторлон-4, отличающийся от обычного более высоким молекулярным весом и большей термостабильностью.

Спекание таблетки сопровождается значительной усадкой и повышением плотности (до 2,2 г/см³).

Охлаждение таблеток, проводимое по окончании спекания, — ответственная операция, определяющая в значительной степени механические свойства изделий. Охлаждение может происходить с закалкой и без нее. Сущность закалки заключается в быстром охлаждении таблеток в интервале от 327 до 250° С. При этом аморфная фаза успевает перейти в кристаллическую в значительно меньшей степени, чем при медленном охлаждении, и материал становится более эластичным. Если от полимера требуется большая жесткость и газонепроницаемость, то охлаждение нужно вести без закалки, т. е. таблетки медленно охлаждать в печи до 250° С и затем выгружать, заворачивая их сразу же в асбестовое полотно для более равномерного остывания. Однако кристаллизация успевает пройти настолько далеко, что допустимо остывание таблеток непосредственно на воздухе.

Закалка достигается посредством опускания таблеток в воду — ледяную или комнатной температуры.

Таблетки большой толщины следует охлаждать без закалки, так как охлаждение внутренних участков происходит со значительным опозданием относительно наружных.

Нормальная усадка фторлона-4 после спекания и охлаждения составляет 4—7, максимально 9%. Для получения изделий таблетки после спекания и охлаждения обрабатывают на механических станках — токарных, сверлильных и др.

Механическую обработку следует производить через 2—3 дня после спекания, так как за это время наблюдается некоторое изменение размеров заготовок (таблеток). Если спекание проводилось в формах, то заготовку перед механической обработкой отжигают при 350—360°С и затем медленно охлаждают.

Фторлоновые трубы Обычные методы получения труб экструзией и штрангпрессованием неприменимы для фторлона-4 вследствие его неплавкости, а также потому, что волокнистая структура обычного фторлона-4 вызывает такое сильное уплотнение при сжатии, что практически не удается протолкнуть полимер в оформляющую щель.

Червячное и поршневое прессование фторлона требует изменения волокнистой структуры на шарообразную, а также измененной конструкции соответствующего оборудования.

Фторлон-4 Д, полученный при специальных условиях полимеризации, обладает несколько пониженным молекулярным весом (сравнительно с обычным фторлоном-4) и шарообразной формой частиц. Он применяется со смазкой, повышающей текучесть. В качестве смазки можно использовать органические жидкости, например бензин. Иногда употребляют 6%-ный раствор в бензине полиизобутилена с молекулярным весом 30 000—40 000. При сушке и спекании труб бензин испаряется, а полиизобутилен разлагается; газообразные продукты разложения улетучиваются.

Для формования труб можно применять порошок обычного фторлона-4 после специальной подготовки, заключающейся в прогревании рыхлого фторлона-4 до начального спекания при 340°С, его измельчении и просеивании, вследствие чего получаются гранулы с лучшей формуемостью. Трубы можно производить на червячных или поршневых прессах.

Экструзию гранулированного фторлона-4 осуществляют на однокервячном прессе с постоянными шагом и глубиной нарезки, т. е. без сжатия на самом червяке. Уплотнение происходит при продавливании полимера от цилиндра (в котором расположен червяк) к оформляющей головке через конический переход (угол равен 20°). Червяк двухзаходный, вращается со скоростью 30—45 об/мин, охлаждения не имеет. Охлаждающиеся каналы находятся в цилиндре. Формующая головка представляет собой длинную трубу с полированной внутренней поверхностью. Оформленная труба спекается при прохождении через нагретую головку и затем охлаждается. Чтобы успели произойти спекание и охлаждение, головка должна иметь достаточную длину. Обычно принимают $L=80 \div 90 D$ и более (L — длина головки, D — ее диаметр). Внутреннюю поверхность трубы оформляет дорн, длина которого должна перекрывать зону спекания. Центрирование дорна осуществляют концентрической втулкой, свободно насаженной на дорн. Получаемая

труба выталкивает эту втулку в начале экструзии и далее сама центрирует положение дорна.

Поршневой пресс может быть вертикальным или горизонтальным. Он состоит из цилиндра с поршнем, профилирующей головки и печи для сушки, спекания и охлаждения изделия полученного профиля. Полимер смешивается со смазкой и таблетруется в форме, находящейся на прессе. Таблетка поступает в цилиндр прессы, на котором происходит формование труб, стержней и нанесение фторлоновой оболочки на металлические жилы для изготовления кабелей. Полученный профиль подают далее в печь для спекания.

При периодическом методе изготовления труб и профилей из фторлонов оформленные на червячном или поршневом прессе изделия поступают в печь для спекания, расположенную отдельно.

Фторлоновые пленки

Фторлоновые пленки изготавливают периодическим или непрерывным способом. Первый способ заключается в том, что из «пленочного» фторлона-4 прессуют таблетку в виде цилиндра с отверстием по оси. После спекания и охлаждения цилиндрическая таблетка устанавливается на токарный станок, где с нее снимается широким резцом непрерывная стружка (пленка), ширина которой определяется высотой цилиндра, а длина — диаметром цилиндра и толщиной стружки. Стружка может применяться непосредственно как неориентированная пленка. Она пориста из-за выгорания (при спекании) пылинок, попавших в полимер, и поэтому электрическая прочность ее сравнительно невысока.

Для получения ориентированной пленки стружку раскатывают на точном прокатном стане с подогреваемыми валками. При прокате происходит уменьшение толщины пленки и устраняется пористость. Полученная пленка имеет повышенную электрическую и механическую прочность в направлении ориентации.

Ориентированная пленка при нагревании дает усадку. Это свойство используют при обмотке фторлоновой пленкой кабелей или намотке конденсаторов. Нагревание вызывает усадку и уплотнение обмотки.

Неориентированная фторлоновая пленка, полученная описанным методом, имеет толщину 8 мк и более. Ориентированная раскатанная пленка получается толщиной от 3 до 40—50 мк.

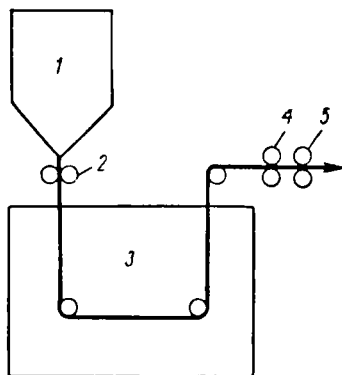


Схема агрегата для непрерывного производства фторлоновой пленки:

1 — вибропитатель; 2 — валки; 3 — ванна (печь); 4 — тянущие валки; 5 — раскаточные валки.

Непрерывное производство фторлоновой пленки осуществляется на агрегате, схема которого дана на рисунке. Порошок фторлона-4 подается из вибропитателя 1 на валки 2, сжимается до формы ленты, а затем пропускается через ванну (печь) 3 с расплавленной солью, имеющей температуру $\sim 380^\circ\text{C}$. Проходя через печь по системе направляющих роликов, спекшаяся пленка принимается тянущими валиками 4 и далее — раскаточными валиками 5. Затем пленку обрезают с краев и наматывают в рулоны.

Склеивание и сварка фторлона-4 описаны в гл. XIII.

При горячей обработке фторлоны могут разлагаться, выделяя перфторизобутилен и другие токсичные продукты. Концентрация газообразных продуктов разложения становится опасной уже при 0,001%, тем более, что они обладают кумулятивным действием (способны накапливаться в организме). Поэтому в отделениях горячей обработки фторлонов должна быть мощная приточно-вытяжная вентиляция с кратностью обмена >5 и приняты другие меры предосторожности, обычные при работе с токсичными газами (аварийная вентиляция и т. д.).

СПЕКАНИЕ ТЕРМОПЛАСТОВ

Для получения крупногабаритных изделий из термопластов успешно пользуются способом спекания, называемым также методом Энгеля.

В зависимости от конфигурации изделий применяемые формы могут быть цельными или разъемными. Обычно их изготавливают из листового металла, например для емкостей $\sim 10\text{ дм}^3$ — из стали толщиной 5 мм. Внутренние стенки формы полируют и хромируют.

Большое значение для процесса спекания имеет гранулометрический состав термопласта. Сыпучесть считается хорошей, если порошок свободно проходит по трубке с внутренним диаметром 6 мм. Для полиэтилена применяют гранулы размером от 0,1 до 0,4 мм, а для более высокоплавких полимеров, например полиамидов, рекомендуются более мелкие частицы, так как необходимо обеспечить полное их проплавление (до термического разложения). Однако чрезмерно мелкие частицы непригодны из-за плохой сыпучести.

Полиэтиленовый гранулят требуемых размеров можно получить замораживанием его жидким азотом с последующим измельчением в дробилках обычного типа или же методом экструдирования с использованием специальных приспособлений.

Процесс спекания заключается в том, что полимер засыпают из бункера в открытую форму, смазанную парафином или силиконовой жидкостью и нагретую до температуры плавления полимера (форму заполняют полностью до краев или же внутрь нее помещают вкладыш, прижимающий гранулят к внутренним стенкам),

закрывают крышкой и помещают в печь, где выдерживают до расплавления слоя требуемой толщины у внутренних стенок формы. После извлечения из печи нерасплавленный гранулят высыпают в приемник и воздуходувкой возвращают для повторного формирования в бункер, а форму снова подают в печь для полного оплавления и выравнивания внутренней поверхности изделия. Форма с изделием поступает на охлаждение воздухом или водой. Готовое изделие подвергают механической обработке.

Метод спекания — самый простой для получения бесшовных полых изделий, которые применяют для хранения и транспортировки жидких и сыпучих материалов. Например, этим методом изготавливают баки ($100\text{--}120\text{ дм}^3$), ванны ($100\text{--}500\text{ дм}^3$), переносные ящики ($100\text{--}500\text{ дм}^3$) и крупногабаритные емкости (до 3000 дм^3) для хранения и транспортировки различных химических и пищевых продуктов.

НАНЕСЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНОК НА МЕТАЛЛЫ

Полимерные пленки наносят на металлические поверхности в качестве антикоррозионных декоративных покрытий. Пленки можно наносить газопламенным и вихревым способом, лакировкой, покрытием поверхности суспензией и посредством приклеивания.

Газопламенное напыление заключается в пропускании порошкообразного полимера через пламя специальной распылительной горелки — частицы полимера расплавляются и, ударяясь о нагретую поверхность, сцепляются с ней. Подготовка металлической поверхности производится так же, как и перед лакировкой, т. е. удаляются ржавчина, масло и другие загрязнения. Небольшие изделия нагревают в печи, крупные — горелкой. Для толстостенных изделий, которые трудно прогреть, этот метод не применяют.

При напылении полиэтилена, полиамидов и некоторых других полимеров происходит их частичное окисление и деструкция. Около $10\text{--}13\%$ полиэтилена переходит в трехмер. Водопоглощение напыленного полиэтилена выше, а морозостойкость ниже, чем у исходного материала.

Для газопламенного напыления часто применяется установка УПН-1, состоящая из ручной распылительной горелки и бачка, служащего для загрузки порошка. К распылительной горелке подводят ацетилен и сжатый воздух. В центре головки имеется сопло, через которое подается порошок.

Аппарат для вихревого напыления представляет собой вертикальный стальной цилиндрический бачок с нижней дырчатой перегородкой (ложным днищем), изготовленной из пористой керамики, набора сеток или других материалов.

Вихревое напыление заключается в том, что через дырчатую трубку, расположенную под ложным днищем, продувают воздух. Если напыляют окисляемые полимеры, например полиэтилен или полиамиды, то продувка инертным газом может дать лучшие результаты.

Порошкообразный полимер, загруженный в бачок, образует при продувании воздуха псевдокипящий слой, в который опускают очищенную и нагретую металлическую деталь. Температура нагрева детали зависит от применяемого полимера, а также от соотношения массы и поверхности детали. С уменьшением этого соотношения температуру нагрева следует увеличивать. Для деталей с развитой поверхностью, которые охлаждаются быстрее, нередко после нанесения полимерного покрытия требуется дополнительный прогрев. Однако перегрев недопустим, так как он приводит к побурению светлых полимеров и образованию вздутий.

Процесс напыления продолжается ~ 30 сек. Частицы полимера, попадая на нагретую поверхность, плавятся и растекаются, образуя довольно равномерный слой. Толщина напыленного слоя для антикоррозионных покрытий 200—300 мк.

МЕТОДЫ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПЕНОПЛАСТМАСС

В последние годы получили распространение новые легкие пластмассы, так называемые газонаполненные пластмассы, или пенопластмассы. Они отличаются от однородных монолитных полимерных материалов своей физически неоднородной ячеистой структурой. Различают два вида структуры газонаполненных пластмасс:

1) *пенистые пластмассы*, в которых полимер образует систему изолированных ячеек, содержащих газ (или смесь газов) и разделенных тонкими стенками; структура таких материалов напоминает как бы затвердевшую пену, поэтому кратко их называют *пенопластами*;

2) *пористые пластмассы*, в которых полимер образует систему сообщающихся ячеек или полостей, заполненных газом; этот тип материалов пористого, губчатого строения называют *поропластами*.

Свойства пено- и поропластов определяются объемом газовой фазы, строением ячеек и химическим строением полимера.

Часто газонаполненные пластмассы имеют смешанную структуру: ячейки пенопластов в той или иной мере разрушены и сообщаются между собой, в структуре же поропластов имеются участки отдельных замкнутых ячеек. Независимо от строения ячеек газонаполненные материалы иногда не делят на пено- и поропласты.

В отечественной промышленности производятся и находят применение пенопластмассы, получаемые на основе многих полимеров, жесткие и эластичные — пенистой и пористой структуры (табл. X-1).

Пенопластмассы используют в различных отраслях народного хозяйства. Многослойные конструкции, выполненные с применением этих материалов в качестве заполнителей, легки, обладают высокой прочностью и жесткостью (например, лопасти винтов самолетов). Облицовочными словыми материалами в таких конструкциях могут быть листовые металлы (дюралюминий, сталь),

Таблица X-1

Пенопластмассы отечественного производства

Полимер	Марка пенопластмассы	Объемный вес γ , г/см ³	Максимальная температура (в °C) при различных условиях эксплуатации		Метод получения	Назначение
			длительно на воздухе	кратковременно в конструкциях		
Поливинилхлорид с метилметакрилатом	ПХВ-1	0,07—0,5	60	70—80	Прес-совый	Материал для теплоизоляции и плавучих средств; негорючий легкий заполнитель многослойных конструкций
Поливинилхлорид с пластификатором	ПХВЭ	0,1—0,2	40—50	—	То же	Амортизирующий и демпфирующий материал
Полистирол	ПС-1	0,06—0,5	60—65	70—80	»	Материал для теплоизоляции и плавучих средств; заполнитель конструкций силового и радиотехнического назначения
»	ПС-4	0,04—0,1	65—70	75—85	»	Теплоизоляционный материал; заполнитель конструкций
»	ПС-Б	0,05—0,5	60—65	70—80	Беспрес-совый	Материал для теплоизоляции и плавучих средств
Фенолформальдегидная смола	ФФ	0,1—0,45	150—160	200—250	То же	Материал для теплоизоляции и плавучих средств
Фенолформальдегидная смола с каучуком	ФК-20	0,12—0,45	100—120	180—200	»	Вспенивающийся в конструкциях заполнитель, демпфирующий материал

Продолжение

Полимер	Марка пенопластмассы	Объемный вес *, г/см ³	Максимальная температура (в °С) при различных условиях эксплуатации		Метод получения	Назначение
			длительно на воздухе	кратковременно в конструкциях		
Полнуретан	ПУ-101 (жесткий)	0,05—0,5	120—170	170—200	Беспрес-совый	Заполнитель в изделиях силового, радиотехнического, тепло- и электроизоляционного назначения
»	ППУ-Э-2 (эластичный)	0,035—0,055	- 100	—	То же	Материал для мебели, сидений автомашин; тепло- и звукоизоляционный материал
Кремний-органическая смола К-40	К-40	0,2—0,4	200—250	300—350	»	Материал для изделий теплоизоляционного и радиотехнического назначения
Эпоксидная смола ЭД-6	ПЭ-1	0,06—0,3	100—120	150—200	»	Материал для изделий, работающих в жидких средах; заполнитель конструкций
Мочевинно-формальдегидная смола	Мипора	0,02	100—110	130—150	»	Теплоизоляционный материал

* То же, что кажущаяся плотность.

стеклопластики, фанера и др. Хорошие электроизоляционные свойства пенопластмасс позволяют изготавливать различные изделия радио- и электропромышленности — антенные обтекатели, кожухи, линзы, блоки электроаппаратуры, заполненные пенопластмассой, и т. д.

Вследствие малой способности к поглощению воды пенопластмассы используют в производстве непотопляемых судов, переправочных средств, всевозможных поплавков, спасательных кругов и т. п.

Пенопластмассы превосходят большинство других материалов по теплоизоляционным свойствам и успешно применяются для теплоизоляции зданий и сооружений, вагонов, холодильников и других объектов. Используют их также в производстве тканей, дублированных с пенопластами, мебели и многих других предметов бытового назначения.

Производство пенопластмасс базируется на следующих процессах:

- 1) вспенивании полимеров в высокоэластическом состоянии;
- 2) вспенивании вязкожидких смесей в процессе образования полимера.

Вспенивание полимеров в высокоэластическом состоянии производится при помощи специальных газообразующих веществ — твердых или жидких. Температура разложения твердого газообразующего вещества должна быть несколько выше температуры перехода полимера из твердого состояния в высокоэластическое. При нагреве полимера с газообразующим веществом последнее разлагается с выделением газа, вспенивающего полимер, причем часть газа растворяется в полимере. Эту группу процессов широко используют в промышленности для производства многих пенопластов. Подробно эти методы будут рассмотрены ниже.

Важнейшими характеристиками газообразователя являются температура разложения и газовое число — количество газа (в см^3), выделяющееся при разложении 1 г газообразователя.

Вещества, применяемые в качестве газообразователей, должны отвечать следующим требованиям:

- 1) выделение газа должно происходить в узком температурном интервале, величина которого зависит от режима производства;
- 2) скорость выделения газа должна отвечать требованиям процесса вспенивания полимера;
- 3) газ и продукты разложения не должны быть токсичными и не должны оказывать коррозионного воздействия на металл и материалы, соприкасающиеся с газонаполненным полимером;
- 4) газообразователь должен обладать способностью хорошо распределяться в полимере;
- 5) продукты, образующиеся при разложении газообразователя, не должны иметь запаха;
- 6) процесс разложения газообразователя не должен сопровождаться выделением большого количества тепла;
- 7) при получении газонаполненных пластмасс на основе реактопластов продукты разложения газообразователей не должны влиять на скорость отверждения реактопласта;
- 8) газообразующие вещества должны быть дешевыми и должны обладать стойкостью при хранении и транспортировке.

Большинство органических веществ, применяемых в качестве газообразователей, относится к одному из следующих четырех классов:

	Кислотное число, мгKOH/g
Азосоединения ($R-N=N-R$)	84—196
Сульфонилгидразины ($R-SO_2-NH-NH_2$)	82—170
Нитрозосоединения ($R-N(R)-NO$)	179—230
Производные гуанидина ($R-C(=NH)(NH_2)-NH_2$)	—

В качестве неорганических газообразователей широко используют углекислый аммоний и бикарбонат натрия.

В производстве пенополистиролов применяют легколетучий жидкий газообразователь — изопентан, который вводят в полистирол в процессе его синтеза.

Примером вспенивания вязкожидких смесей может служить процесс получения пенопластов из феноло-формальдегидной смолы в присутствии кислого отвердителя и металлических порошков или солей угольной кислоты. При взаимодействии кислого отвердителя с металлическими порошками выделяется водород, а с солями угольной кислоты — углекислый газ, — эти газы и являются вспенивающими агентами.

Другой пример — образование пенополиуретанов при смешении полиэфира, диизоцианата и воды в присутствии катализаторов и эмульгаторов (обычно используют полиэфир с гидро- и карбоксильными группами на концах цепи): при взаимодействии названных компонентов происходит выделение углекислоты, вспенивающей полученный в результате реакции полимер. В зависимости от химического строения исходных полиэфира и диизоцианата конечным продуктом может быть жесткий или эластичный пенополиуретан. Реакция протекает очень быстро, поэтому, если не будет обеспечено хорошего перемешивания, может образоваться неоднородный материал. Для получения гомогенного материала используют специальные дозировочно-смесительные машины. В качестве дозирующих устройств применяют насосы. Смешение проводят в специальных камерах при помощи мешалок ($n=3000 \div 5000$ об/мин) или сжатого воздуха. Кроме того, смешение компонентов возможно за счет противоточного впрыскивания под высоким давлением.

Основные способы производства поропластов базируются на следующих процессах:

- 1) спекании частиц термопластичных полимеров;

- 2) выщелачивании из полимерной композиции наполнителя;
- 3) вспенивании водных растворов соединений, способных образовывать трехмерные структуры;
- 4) вспенивании эластичных полимеров, насыщенных газом.

При получении поропластов спеканием должен быть обеспечен нагрев до вязкотекучего состояния только поверхностных слоев частиц полимера, после чего в результате диффузионных процессов происходит соединение этих частиц между собой. По окончании спекания образуется пористое изделие. На этом принципе основан непрерывный процесс производства пористого поливинилхлоридного полотна, идущего затем на изготовление сепараторных пластин для аккумуляторов (мипластовых сепараторов). Основная стадия этого процесса — спекание поливинилхлоридной смолы, прошедшей подготовительную термическую обработку. Термически обработанная смола непрерывно сыпается тонким слоем на движущуюся бесконечную металлическую ленту, на пути которой расположены зоны нагрева. Слой смолы, проходя эти зоны, образует пористое полотно, подвергаемое затем химической и механической обработкам для получения из него сепараторных пластин.

Пример процесса, основанного на выщелачивании наполнителей из полимерных композиций, — изготовление другого типа сепараторных пластин для аккумуляторов. В этом случае поливинилхлоридную смолу смешивают с растворителем и крахмалом и на червячном прессе с шелевой головкой формуют из композиции полотно, которое затем подвергают воздействию воды и раствора кислоты, вследствие чего из полотна вымывается крахмал и оно становится пористым. При таком методе свойства полученных сепараторов лучше, чем при спекании.

Вспенивание водного раствора мочевино-формальдегидной смолы для получения пористого материала — мипоры — может служить примером третьей группы процессов. В водный раствор мочевино-формальдегидной смолы добавляют пенообразующее вещество (например, контакт Петрова) и быстро вращающимися мешалками перемешивают до образования пены, которую затем разливают, отверждают и сушат. При сушке и отверждении смолы происходит усадка ($\sim 20\%$), в результате которой стенки ячеек частично разрушаются — образуется материал пористой структуры.

Вспениванием эластомеров, насыщенных газом, получают губчатый пластифицированный поливинилхлорид. По этому способу смешанную с пластификатором смолу (пасту) насыщают углекислым газом в автоклаве под давлением при низкой температуре. После насыщения давление резко снижают до атмосферного — паста вспенивается; ее быстро прогревают, смола желатинируется, и образуется поропласт. При необходимости получить изделие заданного профиля пасту смешивают с солями угольной кислоты и помещают в форму (в которой создают давление), а затем нагре-

вают до температуры разложения солей; нагревание продолжают до температуры, при которой смола желатинируется.

Во многих процессах производства пенопластмасс применяется прессовое оборудование, поэтому метод производства называют прессовым. Другой метод, при котором прессовое оборудование не используется, называют беспрессовым.

При прессовом методе полимер, смешанный с газообразующим веществом, прессуют в форме на прессе; получают заготовку, которую в дальнейшем подвергают вспениванию. При беспрессовом методе отсутствует стадия изготовления заготовок прессованием; полимер, содержащий газообразующие вещества или выделяющий их в процессе синтеза, вспенивается в формах или конструкциях (если он служит наполнителем).

В процессах производства пенопластмасс с применением газообразующих веществ смешение может быть выполнено несколькими способами:

1) введением газообразующих веществ в полимер в процессе его синтеза, например при получении полистирола для вспенивания (ПС-Б);

2) смешением всех компонентов в шаровых мельницах, например при получении изделий на основе полистирола (ПС-1, ПС-4 и др.) или на основе феноло-формальдегидной смолы (ФФ);

3) смешением на вальцах, что практикуется при получении пенопластов на основе феноло-формальдегидных смол, модифицированных каучуком (ФК);

4) опудриванием гранул полимера газообразующим веществом; в этом случае гранулы полимера предварительно смачиваются небольшим количеством минерального масла (для улучшения адгезии газообразователя к полимеру), а затем в смеситель вводится газообразователь.

При прессовом методе смешение полимера с газообразователем производят главным образом в шаровых мельницах.

ПРЕССОВЫЙ МЕТОД

Технологический процесс производства пенопластовых изделий прессовым методом состоит из стадий смешения полимера с газообразователем и другими компонентами, прессования заготовок из композиции и вспенивания заготовок. Этим способом получают изделия на основе разных полимеров.

Производство изделий из пенополистирола (ПС-1, ПС-4 и др.) Максимальный размер плит, получаемых прессованием, равен $2000 \times 1300 \times 80$ мм. Объемный вес их (кажущаяся плотность) $\gamma_0 = 0,045 \div 0,22$ г/см³. Примерный состав композиций, из которых изготавливают эти плиты, приведен в табл. X-2.

Таблица X-2
Состав композиций разных марок
пенополистирола

Исходные компоненты	Содержание исходных компонентов, вес. ч.		
	ПС-1	ПС-2	ПС-4
Полистирол (эмульсионный)	100	100	100
Динитрил азоизомасляной кислоты	2—5	—	0,75—1
Диазоаминобензол	—	5—7	—
Углекислый аммоний	—	—	3—4
Этиловый спирт	—	—	2—3

Первая стадия процесса — смешение компонентов в шаровых мельницах емкостью 1,5—4 м³. Мельницы снабжены рубашками, в которые поступает охлаждающая вода.

Вторая стадия — прессование композиции при температуре 180°С (рис. X-1). Чтобы при выдержке под давлением не улетучивались газы и не вытекал материал, пуансон или крышка прессформы должны герметично закрывать матрицу. Композицию в

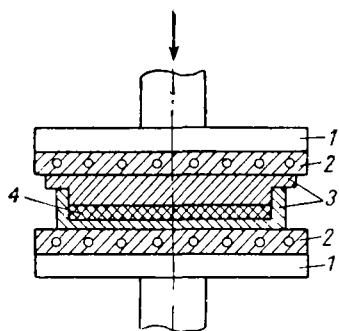


Рис. X-1. Схема прессования в прессформах закрытого типа:

1 — плиты пресса; 2 — плиты обогрева и охлаждения; 3 — прессформа; 4 — композиция.

прессформе уплотняют при удельном давлении 120—170 кгс/см², а затем нагревают паром (10—12 кгс/см²), поступающим в каналы плит. При разложении газообразователя возникает давление газа, достигающее 80—120 кгс/см². Время нагрева определяют из расчета 1—2 мин на 1 мм толщины плиты. По достижении заданной температуры плиту выдерживают при 160—180°С в течение 10—30 мин (в зависимости от толщины). После выдержки плиту в течение 20—45 мин охлаждают до температуры, не превышающей 35°С.

Для прессования пенопластов широко используют прессформы телескопической конструкции (рис. X-2). Они легче поршневых прессформ (рис. X-3), проще в изготовлении и более надежны в эксплуатации. Герметизация прессформы происходит оттого, что замки плотно прижимаются в матрице давлением газов.

Третья стадия процесса — вспенивание заготовки — может проводиться в один или два (для изделий с малым объемным весом)

приема. После окончания выдержки плавно уменьшают давление в прессформе, одновременно давлением газов поднимается пуансон. При этом объемный вес снижается на 30—50%. Обычно эту

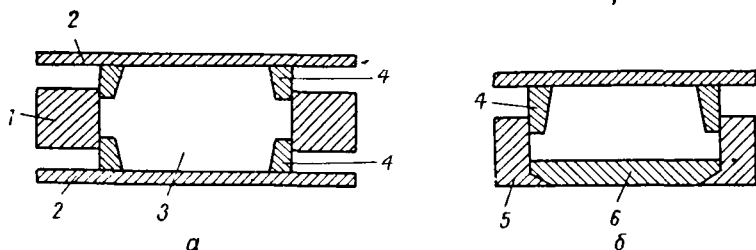


Рис. X-2. Схемы телескопических прессформ:

а — тип I; б — тип 2;
1 — обояма; 2 — крышка; 3 — композиция; 4 — рамка замка; 5 — матрица; 6 — съемное днище матрицы.

операцию называют предварительным вспениванием (подвспениванием). Затем заготовки для вспенивания загружают в формы, представляющие собой металлические рамки, размеры которых соответствуют размерам изготавливаемых плит. Рамки покрывают дюралюминиевыми листами, устанавливают одну на другую в количестве 8—9 шт. и стягивают болтами. Такое приспособление называют кассетой (рис. X-4). Собранные кассеты устанавливают в паровой шкаф и нагревают до 85—110° С насыщенным водяным паром. Кроме того, в качестве теплоносителя при вспенивании могут быть использованы нагретые вода и воздух. Имеются также сообщения о нагреве инфракрасными лучами. Края вспененных плит обрезают на ленточных или круглых пилах.

Заготовки в прессформах геометрически подобны готовому изделию, поэтому прессовый метод иногда называют масштабным прессованием.

При масштабном прессовании прессуется не заданная деталь, а подобная ей монолитная заготовка уменьшенных размеров.

Производство других изделий из пенополистирола — поплавков и т. п. — принципиально ничем не отличается от описанного процесса.

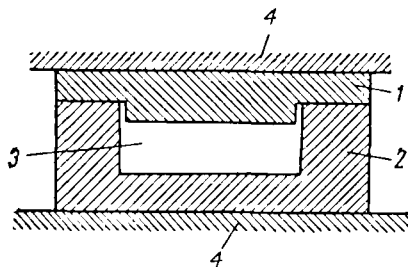


Рис. X-3. Схема поршневой прессформы:

1 — пуансон; 2 — матрица; 3 — прессуемая заготовка; 4 — листы обогрева.

Объемные изделия с толщиной стенки $< 4-5$ мм и высотой, превышающей диаметр изделия, нельзя получать методом масштабного прессования. Тонкие

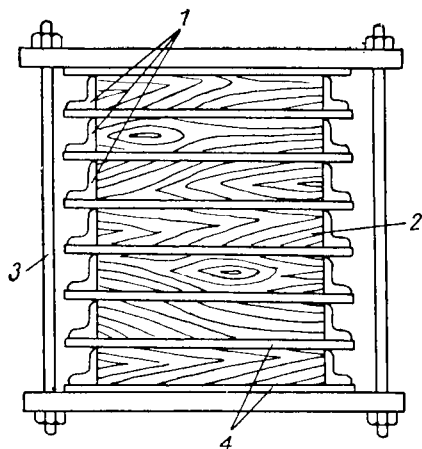


Рис. X-4. Кассета:

1 — рамки; 2 — пенопласт; 3 — стяжные болты;
4 — прокладки.

глубокие изделия получают формованием отпрессованных пластин в ограничительной форме, соответствующей чертежу заданного изделия. Формование происходит при $98-100^{\circ}\text{C}$ под давлением $0,2-1$ кгс/см². Этот метод называется самоформованием. Пластины зажимают по контуру формы, затем форму вместе с пластиной нагревают в паровой камере. Газы, заключенные в пластине, придают ей структуру пенопласта, при этом в форме возникает давление, которое изгибает пластину по внутреннему контуру формы*.

Давление можно увеличить подачей внутрь формы сжатого воздуха. При этом будет происхо-

дить вытяжка полимера. Соответственно толщина стенок изделия станет неравномерной (самоформование с вытяжкой).

Производство изделий из пенополивинилхлорида

Технологический процесс производства изделий из пенополивинилхлорида аналогичен предыдущему. Состав композиций разных марок пенополивинилхлорида приведен в табл. X-3.

Управление процессом требует большой точности, так как температура прессования пенополивинилхлорида близка к температуре разложения поливинилхлоридной смолы.

Приготовление композиции осуществляют для жестких пенопластов в шаровых мельницах, для эластичных — в смесителях.

Жесткие пенополивинилхлориды прессуют при $160-180^{\circ}\text{C}$. Выдержку определяют из расчета 2 мин на 1 мм толщины изделия, удельное давление прессования составляет $150-180$ кгс/см². Под влиянием температуры и давления порошкообразная композиция образует монолитную заготовку, при этом же происходит разложение газообразующих веществ.

Эластичный пенополивинилхлорид прессуют при $180-185^{\circ}\text{C}$.

Жесткие пенополивинилхлориды вспениваются в среде насыщенного водяного пара при $95-98^{\circ}\text{C}$, эластичные — в горячей воде при $80-85^{\circ}\text{C}$.

* Чистое самоформование.

Таблица X-3

Состав композиций пенополивинилхлорида разных марок

Исходные компоненты	Содержание исходных компонентов, вес. ч.				
	ПХВ-1			ПХВЭ	ПХВЭ-35
	$\gamma_0=0,05-0,07 \text{ г/см}^3$	$\gamma_0=0,1-0,19 \text{ г/см}^3$	$\gamma_0=0,17-0,22 \text{ г/см}^3$		
Поливинилхлорид	100	100	100	100	100
Метилметакрилат	25	25	25	—	—
Динитрил азотомасляной кислоты . .	—	0,8—1,1% *	—	10—15	9—12
Углекислый аммоний . .	16	10	10	—	—
Бикарбонат натрия	—	8	8	—	—
Дибутилфталат	—	—	—	25—50	17,5
Тикрезилфосфат	—	—	—	25—50	17,5
Алюминиевая пудра	—	—	—	—	1

* От веса мономера.

При получении пенополивинилхлоридов с $\gamma_0 \leq 0,07 \text{ г/см}^3$ необходимо проводить предварительное вспенивание заготовок в прессформах путем плавного спуска давления в прессформе. Высота подъема пуансона зависит от объемного веса получаемого изделия. Так, при производстве изделий, имеющих $\gamma_0 = 0,04 \text{ г/см}^3$, подъем пуансона составляет 80% высоты заготовки.

Плиты из пенополивинилхлорида можно получать на оборудовании для производства плит из пенополистирола.

Спасательные нагрудники из пенополивинилхлорида прессуют в телескопических прессформах на многэтажных прессах. Вспенивание этих заготовок производят в металлических кольцах. Вспененные заготовки обрабатывают на токарных станках.

В ряде случаев с целью снижения веса конструкции пользуются изделиями со сквозными отверстиями. При изготовлении таких изделий в прессформу для получения заготовки сначала загружают половину навески, затем ее уплотняют и на нее укладывают металлические стержни. После этого засыпают вторую половину навески. Остальные операции не отличаются от операций производства сплошных изделий.

БЕСПРЕССОВЫЙ МЕТОД

Разнообразные изделия из пенопластмасс в виде блоков, листов, профильных метражных изделий изготавливают преимущественно беспрессовым методом.

Существует ряд непрерывных процессов изготовления изделий из пенопластмасс, при которых используют специальное оборудование для разлива вспенивающихся композиций. Такие процессы механизированы и автоматизированы. Разработаны передвижные автоматизированные и полуавтоматизированные установки для изготовления пенопластмасс. Эти установки можно использовать непосредственно на строительных площадках или конвейерных линиях, на которых изготавливают изделия заполненные пенопластами. Например, беспрессовым методом получают большое количество разнообразных изделий из вспенивающегося полистирола ПС-Б, содержащего в качестве газообразователя изопентан.

Производство изделий из вспенивающегося полистирола Технологический процесс производства изделий в этом случае обычно состоит из двух основных операций: 1) предварительного вспенивания полимера; 2) вспенивания гранул в формах или конструкциях, сопровождающегося спеканием гранул с образованием пенистого изделия. Вспомогательными операциями являются: 1) сушка и вылеживание гранул после предварительного вспенивания; 2) сушка готовых изделий; 3) механическая обработка.

Предварительное вспенивание происходит при нагреве гранул полистирола ПС-Б. Теплоносителем служит пар или горячая вода. С увеличением продолжительности нагрева уменьшается объемный вес и, соответственно, увеличивается выход (в л) предвспененных гранул. Одновременно повышается время выдержки гранул на воздухе для ликвидации вакуума.

Процесс проникновения воздуха внутрь ячеек обеспечивает получение прочного и устойчивого изделия из пенопласта. Предвспененные гранулы должны быть подсушены, так как влага может частично вытеснить из ячеек изопентан и воздух, вследствие чего изделия могут оказаться слабоспекшимися и недостаточно прочными. Кроме того, влага повышает теплопроводность пенопласта, так как коэффициент теплопроводности воды в 14 раз больше, чем коэффициент теплопроводности пенопласта.

Предвспененные гранулы должны быть переработаны в изделие не позже, чем через 7 дней после их изготовления. Выдержка более 7 дней приводит к снижению вспенивающей способности гранул и получению малопрочных изделий.

При предварительном вспенивании гранулы полимера медленно и свободно расширяются под действием тепла. Насыпной вес (насыпная плотность) гранул после предварительного вспенивания

соответствует объемному весу будущего изделия; при этом необходимо, чтобы гранулы не потеряли способности хотя бы в малой степени дополнительно расширяться.

Сущность предварительного вспенивания состоит в том, что при нагреве полистирола ПС-Б выше температуры стеклования он становится эластичным. В этих условиях изопентан переходит в газообразное состояние, а гранулы увеличивают объем в зависимости от температуры и продолжительности нагрева.

Предварительное вспенивание сокращает в 3—4 раза количество изопентана, необходимое для получения изделий с малым объемом, так как гранулы во время вылеживания в атмосферных условиях частично заполняются воздухом.

Предвспененные гранулы загружают в форму и нагревают. Расширение газов в ячейках гранул, протекающее при постоянной температуре, приводит к возникновению давления внутри закрытой формы и вызывает сильное обжатие гранул, их деформацию и спекание в сплошное изделие. При этом давление внутри гранул суммируется.

Силы спекания гранул в закрытой форме зависят от степени увеличения объема гранул и, соответственно, от давления. В форме между гранулами полимера образуются трех- и четырехугольные пустоты. Объем этих пустот эквивалентен радиусу гранул. При объемном увеличении гранул общее количество пор уменьшается. Самые мелкие поры исчезают, особенно при соприкосновении со стенками формы.

Перевспененные гранулы расширяются незначительно, поэтому силы спекания малы. Это приводит к получению непрочных изделий.

При длительном процессе спекания (и особенно в случае применения силиконовой смазки для стенок формы) на поверхностях гранул, соприкасающихся со стенками, образуются плотные пленки толщиной 20—25 мк.

Чем больше насыпной вес предвспененных гранул и, соответственно, плотность упаковки в форме, тем выше возникающее давление. Максимальное давление, которое развивается в форме, равно $3,8 \text{ кгс/см}^2$.

При использовании предвспененных гранул с пониженным насыпным весом ими целиком заполняется объем формовочной камеры, при этом исключается свободное расширение отдельных гранул, а следовательно, и образование чрезмерно тонких пленок, ограничивающих ячейки; при формовании развивается небольшое давление. Теплоноситель подается непосредственно в форму и омывает гранулы. Чрезвычайно важно обеспечить равномерный прогрев всей массы.

Технологический процесс. По одному из способов предварительное вспенивание гранул проводится в червячном прессе.

(машине) с паровой рубашкой и длится при $100\text{--}105^\circ\text{C}$ в течение 4—7 мин — времени пребывания гранул в машине, которое регулируется числом оборотов червяка. Длительностью пребывания гранул в прессе определяется степень вспенивания — объемный вес гранул.

При небольших объемах производства предварительное вспенивание осуществляют в горячей воде при $90\text{--}95^\circ\text{C}$ в течение 2—8 мин. Время вспенивания определяет насыпной вес гранул.

При нагреве гранул горячим воздухом время вспенивания возрастает в 8—10 раз.

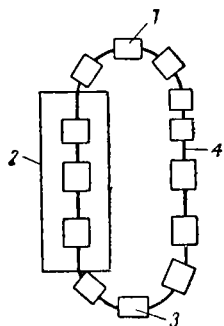
Гранулы, вспененные в воде, отжимают на центрифуге.

Сушку и вылеживание вспененных гранул осуществляют в бункерах, снабженных змеевиками, или в сушилках с циркулирующей воздухом. Температура сушки $35\text{--}40^\circ\text{C}$.

Окончательное вспенивание может проводиться периодическим методом в формах, а при получении листов и пленок — непрерывным при помощи специальных агрегатов.

Рис. X-5. Схема получения изделий из вспенивающегося полистирола (ПС-Б):

1 — загрузка; 2 — прогревание; 3 — остывание; 4 — разъем формы и извлечение изделия.



Процесс производства состоит в том, что гранулы предварительно вспененного полимера загружают в формы (заподлицо), которые устанавливают в 8—9 этажей на тележку и скрепляют болтами, затем тележку вкатывают в автоклав, куда подается острый пар под давлением $2,2\text{--}2,5\text{ кгс/см}^2$. Продолжительность вспенивания — 30—60 мин.

Процесс окончательного вспенивания может быть механизирован. При этом вспенивание осуществляют в разъемных формах, укрепленных на непрерывно движущейся цепи. Размыкание и замыкание форм происходит автоматически. Схема получения изделий из вспенивающегося полистирола (ПС-Б) дана на рис. X-5.

Формы должны отвечать следующим требованиям:

1) конфигурация и живое сечение их полости должны быть такими, чтобы гранулы равномерно заполнили весь объем будущего изделия;

2) стенки должны иметь уклон 2° , форма не должна иметь острых углов и поднутрений (при толщине стенки изделия до 3 мм радиус скругления составляет 1,5 мм, при 12 мм он равен 3 мм);

3) внутренние поверхности должны быть хромированы или никелированы;

4) необходимо, чтобы между стыками форм оставался зазор, а полость форм не была бы герметична (через зазор в процессе формования удаляются избыточные пар, конденсат и газы); обычно полуформы делают пустотелыми, толщина стенок колеблется в пределах 1,5—12 мм; необходимая жесткость (в большинстве случаев величина давления не превышает 3—3,5 кгс/см²) достигается ребрами на плоских участках стенок;

5) для изделий с толщиной стенок до 2,5 мм нагрев осуществляется через стенки, в остальных случаях в стенках формы должны быть отверстия (рекомендуется делать их щелевыми).

Формы могут иметь индивидуальный обогрев (рис. X-6), для этого они снабжаются рубашками. Стенки самой формы перфорированы, рубашка имеет два входа для пара и выходы для конденсата и воздуха.

Непрерывным способом могут быть изготовлены плиты и пленки.

Пленки получают на червячной машине, снабженной плоско-щелевой головкой. В бункер-питатель загружают предварительно вспененные гранулы полистирола, которые окончательно вспениваются в машине и выдавливаются через щелевую головку, нагретую до 110—130° С.

Для получения плит непрерывным методом описан агрегат, который состоит из четырех металлических транспортеров, расположенных таким образом, что они образуют прямоугольную камеру для вспенивания. Длина агрегата 10—12 м. Изделия, содержащие 5—7% влаги, сушат на воздухе или в сушильных камерах.

Вспенивание в конструкциях

В свободные объемы конструкции, каркас которой изготовлен из листов прочных материалов, загружают полимер с газообразователем, после чего конструкцию нагревают. Пенопластмасса заполняет свободное пространство и одновременно приклеивается к внутренним поверхностям каркаса. Обычно конструкцию нагревают в форме ограничителя.

Заполненные конструкции могут быть получены и другим способом: предварительно из пенопластмассы изготавливают деталь нужной формы, а затем приклеивают к прочным листам, которые образуют силовую часть конструкции.

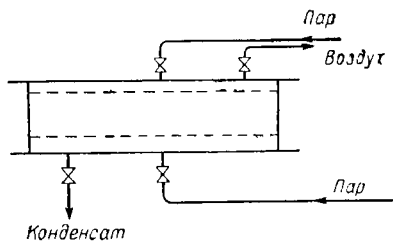


Рис. X-6. Схема устройства беспрессовой формы.

Порошки, гранулы и жидкие смолы вспенивают в конструкциях и ограничительных формах при помощи воздушного или электрического нагрева. Давление внутри может достигать 4—6 кгс/см².

Многослойные конструкции с пенистым заполнителем можно разделить на две группы:

1) конструкции, не имеющие достаточной жесткости, поэтому нуждающиеся при заполнении в ограничительных формах;

2) жесткие конструкции, не требующие при заполнении ограничительных форм.

Обработка изделий из пенопластмасс описана в гл. XII.

ПОЛИМЕРНО-МОНОМЕРНОЕ ЛИТЬЕ

Изготовление крупногабаритных изделий блочной полимеризацией мономеров в формах — процесс очень длительный (~ 20 ч), сопровождающийся значительной усадкой изделий (до 20%). Эти недостатки в большой степени устраняются при полимеризации в форме смеси мономера с полимером. Длительность процесса при этом снижается до 5—7 мин.

Из мономеров применяют метилметакрилат, бутилметакрилат, стирол, винилацетат и акрилонитрил, а из полимеров — полиметилметакрилат, поливинилхлорид и др. Используют как отдельные мономеры и полимеры, так и их смеси. Помимо мономеров и полимеров в состав литьевых композиций входят инициаторы, пластификаторы, красители и другие добавки.

Технологический процесс изготовления изделий методом полимерно-мономерного литья состоит из следующих операций: 1) подготовки сырья, 2) подготовки формы, 3) приготовления композиции, 4) заливки композиции в форму, 5) отверждения.

При подготовке сырья мономеры отмывают от ингибиторов. Так, стирол и метилметакрилат промывают в закрытом аппарате с мешалкой сначала 1% раствором щелочи в течение 1 ч из расчета три объема щелочного раствора на один объем мономера, а затем чистой водой также в течение 1 ч. После отстаивания промывную воду сливают. Отмытые мономеры хранят в стеклянной таре в темном и прохладном помещении не более 2 суток.

Полимеры и другие порошкообразные компоненты подсушивают, если их влажность превышает 2% и просеивают через сито № 1.

Для полимерно-мономерного литья применяют формы из металла, пластмасс, гипса, цемента и других материалов. В ряде случаев, например при литье метилметакрилатных композиций в гипсовые или бетонные формы, последние покрывают разделительным слоем из жидкого стекла или полимерных лаков, дающих пленку, нерастворимую в заливаемой композиции. Такие разделительные пленки удаляются из форм вместе с отлитым изделием. В случае применения металлических или фольгированных форм в композицию вводят смазку, например стеараты металлов,

в количестве около 0,5% от веса композиции. К формам, изготовленным из полимеризационных пластиков, композиции практически не прилипают, поэтому такие формы не требуют разделительных слоев или введения смазки в литьевые композиции.

Материал формы может каталитически влиять на скорость процесса полимеризации: так, полимеризация ускоряется при использовании бронзовых и латунных форм.

Приготовление композиции заключается в замешивании составных частей в открытом бачке из нержавеющей стали посредством мешалки или лопатки, также выполненной из нержавеющей стали. Вначале перемешивают мономеры с инициатором и пластификатором, затем добавляют краситель, предварительно затертый с пластификатором или мономером, и после тщательного перемешивания постепенно засыпают полимерную смесь до получения пасты. Ввиду низкой жизнеспособности композиций (3—7 мин при комнатной температуре) их готовят небольшими партиями, чаще всего оптимальный вес одной заливки составляет 15 кг. Заливка производится плавной струей без давления для подвижных смесей и с применением небольших давлений при густых смесях.

Отверждение происходит после заливки. Закрыв литниковое отверстие пробкой, металлическую форму помещают в нагревательную камеру, которой может служить ванна с кипящей водой,

Рецептура и условия отверждения литьевых композиций

	Акрилатная		Стироль- ная
	I	II	

Рецептура (вес. ч.)

Метилметакрилат	38	38—40	—
Стирол	—	—	33—35
Полиметилметакрилат бисерный Л-1	40	50—55	65—68
Поливинилхлорид ПФ-4 или М	10	—	—
Игелит	10	7—10	—
Перекись бензоила	1	0,2—0,3	1
Пигменты	8—10	5—8	8
Диметиланилин	2	—	—

Условия отверждения

Температура отверждения, °С	20	100—110	120—125
Время отверждения, мин			
в металлической форме	25	5—7	15—20
в гипсовой »	25	30—40	100

Примечание. I и II — композиции соответственно холодного и горячего отверждения.

если полимеризацию ведут при 100°C , на 10—20 мин в зависимости от веса и рецептуры отливки, материала и толщины стенок формы. Гипсовые формы перед прогревом выдерживают при комнатной температуре в течение 30—40 мин, а затем обогревают острым паром в автоклаве при 110°C . При использовании воздушных обогреваемых камер процесс полимеризации сильно замедляется из-за плохой теплопередачи. Отвержденное изделие извлекают из формы. Гипсовые формы при этом разрушаются.

Готовые изделия в случае необходимости подвергают механической обработке: снятию грата, сверлению, нарезке резьбы, шлифовке и т. д. Их можно склеивать и сваривать обычными методами, полировать, лакировать и окрашивать. Лаки и краски наносят обычными малярными способами, но без грунтовки, так как адгезия их к поверхности изделий достаточно велика.

В таблице приведены типовые рецептуры и условия отверждения некоторых литьевых композиций.

Полимерно-мономерные композиции можно перерабатывать не только литьем, но и прессованием, а также другими методами. Например, негорючие композиции на основе поливинилхлорида, имеющие высокую вязкость, перерабатывают на прессах или методом формования в резиновых мешках в случае очень крупных изделий.

Полимерно-мономерное литье используется для изготовления скульптур, строительных деталей, декоративных изделий, контейнеров, технических ванн, театральной бутафории и т. д. Отливки достигают значительных размеров: были получены изделия весом до 3 т и высотой до 10 м.

ПЕРЕРАБОТКА ПЛАСТИЧЕСКИХ МАСС В ТВЕРДОМ СОСТОЯНИИ

Все процессы переработки в изделия заготовок из пластмасс, имеющих в твердом состоянии форму листов, блоков, стержней, плит и т. п., а также процессы обработки формованных изделий под действием давления или резания называются механической обработкой.

Разделительная штамповка осуществляется давлением на материал.

При вырубке (вырезке) и пробивке плоских изделий из листовых и слоистых материалов происходит частичное или полное отделение одной части материала от другой по заданному контуру.

Вырубкой и пробивкой при помощи штампов получают многочисленные изделия, используемые в радиотехнических, электронных и других приборах. В частности, штамповкой изготовляют печатные платы — изоляционные основания с проводниками, имеющие отверстия для установки различных элементов.

Резанием — процессом обработки со снятием стружки (точение, фрезерование, сверление и др.) — пользуются:

1) при получении единичных изделий из заготовок, когда невыгодно делать сложные прессформы;

2) при обработке сформованных изделий, когда необходимо удалить излишки материала в виде заусенцев, пленок в отверстиях, литников или их следов, а также в тех случаях, когда в готовых изделиях нужно сверлить отверстия, фрезеровать пазы, нарезать резьбу или производить другие аналогичные операции;

3) при резке листов, плит и других изделий на заготовки.

В этой главе будут рассмотрены разделительная штамповка, резание, а также обработка изделий.

ШТАМПОВКА

При штамповке форма изделия определяется формой используемого инструмента — штампа.

По характеру деформации материала при штамповке и принципиальным отличиям в конструкции штампов различают две группы

процессов: 1) разделительную штамповку и 2) штампование (см. гл. VII).

При разделительной штамповке в материале сразу же возникают упругие деформации, превышающие предел прочности. В результате этого происходит полное или частичное отделение одной части материала от другой.

Разделительной штамповкой осуществляют следующие процессы:

1) вырубку (вырезку) — полное отделение материала, при котором получают изделия заданного контура;

2) просечку — изготовление деталей простой формы ножевыми штампами (без матриц);

3) пробивку — получение отверстий или пазов в изделиях;

4) обрезку — отделение неровных краев на листах или излишков материала на изделиях;

5) отрезку — полное отделение одной части материала от другой (изготовление заготовок);

6) надрезку — частичное отделение обрабатываемого материала с образованием выступов и упоров.

Усилия, затрачиваемые при штамповке, невелики, поэтому используют гидравлические и механические (эксцентриковые, кривошипные, фрикционные и др.) прессы с номинальным усилием от 3 до 100 тс и числом ходов от 40 до 140 в 1 мин.

Тип прессы и величина хода ползуна должны соответствовать технологической операции. Необходимо, чтобы размеры стола и ползуна прессы обеспечивали возможность установки и закрепления штампов, а также подачу заготовок.

Большие зазоры и перекосы в направляющих сказываются на работе штампа и способствуют появлению дефектов на деталях.

При плавном и равномерном приложении нагрузки качество получаемых деталей выше, чем при ударном воздействии, поэтому для производства различных сложных деталей чаще всего применяют гидравлические прессы.

Штампы

Штамповка изделий состоит из следующих основных операций:

- 1) прижима заготовки;
- 2) вырубки (вырезки) изделия из заготовки;
- 3) выталкивания изделия из штампа;
- 4) съема отходов заготовки со штампа.

Основные части штампа:

- 1) рабочие органы — пуансоны и матрицы;
- 2) детали крепления — плиты, болты, винты, клинья и др.;
- 3) детали, направляющие движение подвижной части штампа относительно неподвижной;

4) механизмы выталкивания изделий и отходов, а также съемники;

5) механизмы автоматической подачи заготовок;

6) дополнительные устройства — упоры, ограничители и т. п.

Прижим заготовки обычно осуществляется выталкивателями и съемниками, оснащенными пружинами.

Во время вырубки материал находится под действием прижима, который создается пружинами. Усилие прижима можно регулировать.

На выталкивателе и пуансоне имеются углубления по всему контуру, образующие пояски шириной 4—5 мм. Вследствие этого усилие прижима сосредоточивается вблизи режущих кромок.

В крупносерийном производстве применяют инструментальные штампы без направляющих, с направляющими плитами (пакетные), с направляющими колонками (блочные), с сопряженными направляющими.

В соответствии с числом и последовательностью выполняемых операций штампы делятся на следующие типы:

1. Простые штампы, осуществляющие только одну операцию, например вырубку контура изделия или пробивку отверстий.

2. Совмещенные штампы, которые за один рабочий ход выполняют одновременно несколько операций, например вырубку изделия и пробивку в нем отверстий.

3. Последовательные штампы, производящие все операции последовательно. Такой штамп имеет несколько пар пуансонов и матриц. Полоса или лента подается сначала к первой паре пуансонов и матриц, затем в промежутке между рабочими ходами пресса — ко второй паре и т. д. Следовательно, каждый участок заготовки подвергается обработке последовательно, а все пуансоны и матрицы работают одновременно. При обработке в последней паре пуансонов и матриц происходит отделение готового изделия от полосы.

4. Для штамповки сложных изделий используют последовательно-совмещенные штампы.

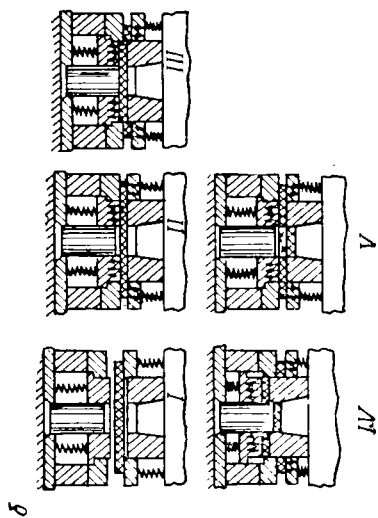
На рис. XII-1 приведены схемы штамповки пластмасс.

Технологические особенности последовательной штамповки в открытых штампах с прижимом (рис. XII-1, а) показывают, что она может быть принята в качестве основной при изготовлении деталей из неметаллических материалов.

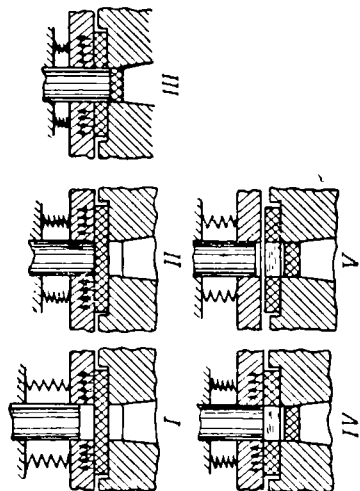
Основные преимущества этой схемы следующие:

1. Штамповка осуществляется с прижимом материала, величина которого может регулироваться. В качестве прижима могут быть использованы пружины, резина, воздух или жидкость.

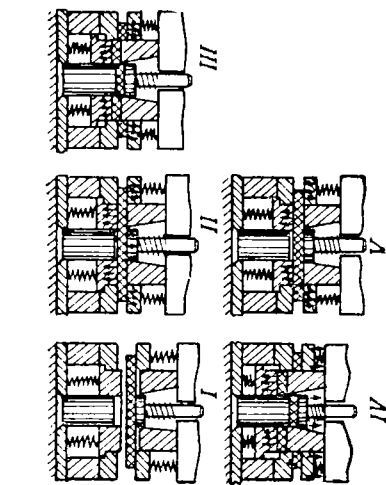
2. Последовательная штамповка позволяет осуществить качественную вырубку (пробивку) без подогрева даже сложных деталей, так как конструктивно возможно расположение специальных пуансонов для создания зон предварительного разрушения как в



а



б



в

Рис. XII-1. Технологические схемы штамповки пластмасс:

а — штамповка с прижимом в последовательных штампах;
б — штамповка в совмещенных штампах; в — штамповка в совмещенных штампах с двусторонним прижимом как по контуру, так и в отверстиях; I—V — последовательность штамповки.

местах резкого изменения контура, так и при пробивке отверстий сложной формы сначала предварительным пуансоном, а затем окончательным или в отдельных случаях одновременно ступенчатыми или многоступенчатыми пуансонами.

3. Снятие отштампованных полос происходит плавно и безударно. Перемещение вырубленных деталей всегда происходит по посылу матрицы в одном направлении, вследствие чего разрушенные объемы на поверхности среза под влиянием сил трения выкрашиваются в меньшей степени.

4. В последовательных штампах с прижимом легче встроить электрообогрев инструмента, а также улучшаются условия для сохранения тепла в заготовке за счет контакта между нагретым съемником и матрицей.

5. Возможна механизация отделения отходов и деталей.

Штамповка слоистых пластмасс в совмещенных штампах (рис. XII-1, б) имеет ряд существенных недостатков, которые сужают область ее применения с точки зрения получения качественных деталей.

Во-первых, конструктивно трудно осуществить необходимое давление прижима для съема деталей с пуансонов и выталкивания их из матрицы.

Во-вторых, отштампованные детали снова впрессовываются в полосу, вследствие чего значительно искажается поверхность среза, так как полуразрушенные объемы материала при этом выкрашиваются. При отделении деталей от полос также возможно появление дефектов в виде трещин и расслоений.

В-третьих, в связи с одновременной вырубкой контура и пробивкой отверстий напряжения, возникающие в момент разделения, действуют на перемычки, что служит причиной образования первичных трещин, которые могут разрастись и привести к браку при прессовке деталей в полосу и последующем их удалении.

В-четвертых, производительность труда при штамповке на совмещенных штампах меньше, чем на последовательных.

В-пятых, во многих случаях невозможно создание зон предразрушения при помощи ступенчатых и обыкновенных пуансонов, особенно при изготовлении прямоугольных и фигурных отверстий малых размеров.

Штамповка с двусторонним прижимом материала как наружного контура, так и в отверстиях (рис. XII-1, в) имеет преимущества и недостатки, свойственные обычной совмещенной штамповке, за исключением того, что она практически невыполнима для отверстий размерами до 10 мм, которые составляют основную часть отверстий в деталях из слоистых пластмасс. При пробивке отверстий размерами более 10 мм применение этой схемы значительно усложняет конструкцию штампов, что также уменьшает область ее практического применения.

Штампы совмещенные наиболее целесообразно применять при изготовлении точных деталей со значительными перемычками между отверстиями.

В обычных штампах пуансоны делают короткими.

Точное направление пуансона обеспечивается съемниками, толщина которых обычно равна 15—18 мм. Зазоры между отверстиями в съемниках и пуансонами находятся в пределах скользящей посадки 2-го класса точности.

Пуансон должен погружаться в матрицу не более чем на 0,8 мм. Необходимо, чтобы режущие кромки пуансонов и матриц были острыми. Для периодической очистки штампа к нему подводят сжатый воздух.

Штампы для изготовления особо сложных деталей нужно устанавливать на текстолитовые прокладки толщиной 12—15 мм.

Для производства несложных изделий из листовых и слоистых материалов могут быть использованы ножевые штампы упрощенной конструкции (рис. XII-2), отличительная особенность которых — отсутствие матриц. Штамп состоит из двух ножевых пуансонов 1, 2 и выталкивателей 5, 6, под действием пружин 3, 4 прижимающих материал, а после вырубki удаляющих готовые изделия, а также отходы. Недостатком этих штампов является необходимость частой смены подкладочной плиты (дерево, медь или другой аналогичный по твердости материал, исключаящий затупление ножей).

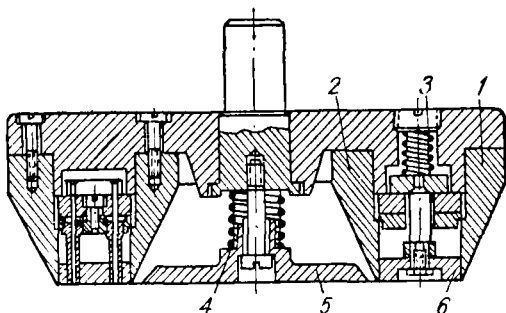


Рис. XII-2. Ножевой штамп:

1, 2 — пуансоны; 3, 4 — пружины; 5, 6 — выталкиватели.

Процесс штамповки

Процесс разделения (вырубка, пробивка) листовых материалов состоит из трех стадий:

- 1) упругого деформирования;
- 2) интенсивного образования зон предварительного разрушения;
- 3) хрупкого разрушения.

На первой стадии под влиянием приложенного усилия в материале возникают напряжения, вызывающие его деформацию. При этом появляются микротрещины, на некотором же расстоянии от режущих кромок — быстро исчезающие веерообразные трещины. По мере концентрирования напряжения материал изгибается, и у режущих кромок образуются зоны, испещренные трещинами. Эта картина соответствует стадии предварительного разрушения. В дальнейшем пуансон погружается в материал на критическую

величину и наступает хрупкое разрушение. Опускание пуансона приобретает ударный характер, и приложенное усилие резко уменьшается.

На процесс разрушения материала при вырубке и пробивке основное влияние оказывают температура материала, величины зазоров между пуансоном и матрицей, пуансоном и съемником, а также давление прижима.

Установлено, что при увеличении зазора между пуансоном и матрицей трещины при пробивке отверстий появляются не на самом изделии, а на избыточной части материала. Эти наблюдения послужили основанием для создания пуансонов особой конструкции, характеризующейся наличием на пуансоне предразрушающего выступа, диаметр которого меньше диаметра пробиваемого отверстия. Такие пуансоны называются ступенчатыми.

Механизм разрушения при пробивке ступенчатым пуансоном может быть представлен следующей схемой (рис. XII-3):

- 1) положение *I* соответствует стадии упругого деформирования;
- 2) положение *II* соответствует моменту, когда на поверхности материала, прилегающего к пуансону, возникают первые трещины.
- 3) в положении *III* во всем объеме материала, находящегося между пуансоном и матрицей, появились сплошные разрушающие трещины;
- 4) в положении *IV* происходит отделение предварительного отхода;

5) положения *V—VII* соответствуют моменту среза полуразрушенных волокон и проталкиванию отхода в матрицу.

При использовании пуансонов с предразрушающими выступами уменьшаются возникающие при пробивке напряжения и распорные усилия. Основной пуансон только зачищает отверстие. Одновременно улучшается чистота поверхности среза и снижаются потребные усилия. Падение усилия при использовании ступенчатых пуансонов зависит от отношений диаметра основного пуансона к диаметру предразрушающего выступа и высоты предразрушающего выступа к толщине материала.

При вырубке и пробивке подогретого материала также увеличивается чистота поверхности среза и уменьшается усилие пробивки.

Разрушение нагретых термопластичных материалов, протекающее с пластической деформацией, аналогично процессу продавливания.

В зависимости от природы материала и его толщины, а также от требований, предъявляемых к качеству изделий, штамповка может быть выполнена в следующих условиях: 1) без подогрева материала и инструмента; 2) без подогрева материала, но с подогревом инструмента; 3) с подогревом материала, но без подогрева инструмента и 4) с подогревом материала и инструмента.

Материал нагревается в печах-шкафах, термостатах или на столах, оборудованных одним из следующих видов подогрева: 1) элементами электросопротивления; 2) инфракрасными лампами; 3) паром и 4) горячим воздухом.

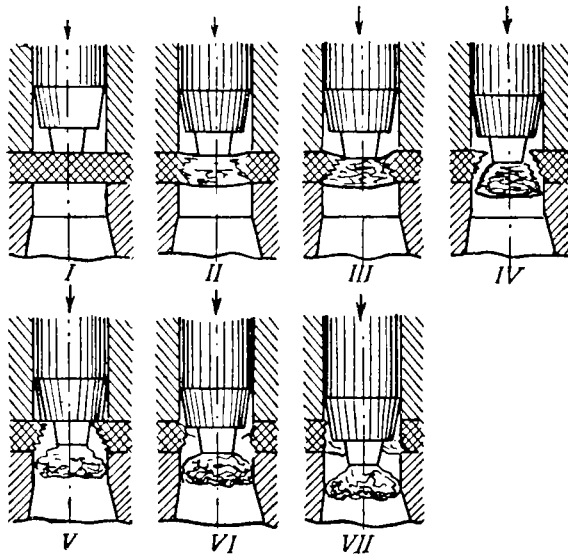


Рис. XII-3. Схема разрушения материала при пробивке ступенчатым пуансоном.

Интенсивность нагрева зависит от конфигурации изделия. При сложных контурах изделия и толщине до 2,5—3 мм материалы нагревают до приведенных ниже температур (в °С):

Текстолит, стеклотекстолит . . .	70—90
Гетинакс	100—120
Винипласт	80—90

Органическое стекло толщиной > 1 мм нагревают до 60—80° С. Температуру штампа поддерживают на уровне 90—110° С. Продолжительность нагрева органического стекла приведена в табл. XII-1.

Минимальный размер отверстий, которые можно пробивать в текстолите и гетинаксе, равен для круглых отверстий $0,4h$ (где h — толщина материала, мм). При этом максимальная толщина текстолита не должна превышать 5 мм, а гетинакса — 2,5 мм.

На штампованных изделиях могут образовываться трещины, ореолы вокруг пробитых отверстий и недопустимые сколы на поверхности среза.

Таблица XII-1

Продолжительность нагрева органического стекла

Способ нагрева	Время выдержки* при различной толщине материала (в мм)		
	2—3	1—2	≤ 1
Элементами электросопро- тивления (130° С)	2,5—3	2,2—2,5	2—2,2
Лампами инфракрасного излучения	1,5—1,8	1,2—1,5	0,9—1,2
Между двумя нагретыми плитами	1,2—1,4	0,8—1	0,7—0,8
Односторонний нагрев на столе	3,5—4,5	5—6	6—8

* Время выдержки дано в минутах на 1 мм толщины материала.

В некоторых случаях дефекты возникают вследствие неудовлетворительной конструкции штампов. Причиной появления дефектов может быть также неудачная форма изделия. Наиболее благоприятные формы плоских деталей — круглая, овальная или какая-либо другая, но с плавными очертаниями. При любой форме детали все углы на ее наружном периметре и во внутренних отверстиях должны быть закруглены. При конструировании деталей необходимо учитывать их технологичность — сочетание конструктивных элементов, которое обеспечивает простое и экономичное изготовление.

Ореол — изменение цвета вокруг отверстий вследствие вспучивания и расслоения поверхностных слоев материала. На величину ореолов оказывают влияние удельное давление прижима, величина радиуса притупления пуансона и матрицы, температура материала, величины зазоров между пуансоном и матрицей и — особенно — между пуансоном и съемником.

При правильно выбранных режимах штамповки ширина ореолов независимо от размеров отверстия находится в пределах 0,05—0,2 мм, в неблагоприятных условиях она достигает 2—3 мм.

При штамповке термопластов удельное давление прижима должно составлять 0,3—0,8 кгс/мм² поверхности среза.

В табл. XII-2 приведен перечень дефектов изделий, причины их возникновения и способы устранения.

При производстве штампованных изделий большое значение имеет наиболее полное использование материала. Оно зависит от раскроя — расположения деталей или заготовок на исходных полосах или листах.

Таблица XII-2

**Причины появления дефектов при штамповке
и методы их устранения**

Дефект	Причина появления	Метод устранения
Трещины в местах резких изменений контура	Температура ниже заданной Велика выдержка материала при нагреве Не соосны пуансоны и матрицы, неравномерны зазоры, увеличен зазор Недостаточен прижим Затуплены режущие кромки пуансонов и матрицы	Отрегулировать режим подогрева Сократить выдержку Проверить по чертежам и при необходимости внести исправления Увеличить прижим Прошлифовать матрицу и пуансон
Ореолы и сколы на поверхности среза	Нарушен режим подогрева Недостаточен прижим материала Затуплены режущие кромки пуансонов и матриц Велик зазор между пуансоном и матрицей	Откорректировать режим подогрева Увеличить прижим Прошлифовать матрицу и пуансон Обеспечить правильный зазор

Характеристикой раскроя является коэффициент использования материала η , представляющий собой отношение полезной площади деталей F_d к площади исходной заготовки F_3 :

$$\eta = \frac{F_d}{F_3} 100\%$$

Полосы для штамповки должны отрезаться параллельно длинной стороне листа. При изготовлении деталей разных размеров целесообразно разрезать лист на полосы соответственно этим размерам.

Особенности процессов вырубки и пробивки не позволяют производить расчет потребных для этого усилий на основании величин сопротивления материала срезу, так как сопротивление разделению определяется многими факторами: свойствами материала, величинами зазоров, радиусом притупления инструмента, температурой материала и др.

**Усилия
при штамповке**

При проектировании штампов должны быть известны величины следующих усилий:

- 1) разделения (вырубки, пробивки);
- 2) прижима;
- 3) проталкивания материала;
- 4) снятия деталей с пуансонов.

Усилие вырубки или пробивки листов P_p (в кгс) приближенно определяется по формуле:

$$P_p = K \sigma_p S_p$$

где σ_p — сопротивление разделению при вырубке контура на инструменте с острыми режущими кромками с минимальным зазором, близким к нулю, и при температуре $20 \pm 2^\circ \text{C}$, кгс/мм²;

S_p — действительная площадь поверхности разделения, определяемая толщиной и периметром контуров детали, мм²;

K — безразмерный коэффициент, учитывающий влияние конструктивно-технологических факторов.

Установлено, что на сопротивление разделению влияют многие факторы. Главными из них являются:

- 1) размеры пробиваемых отверстий (k_1);
- 2) форма отверстий (k_2);
- 3) отношение диаметра пуансона к толщине материала (k_3);
- 4) форма торца пуансона (k_4);
- 5) температура материала при вырубке (k_5).

Влияние всех перечисленных факторов определяется частными безразмерными коэффициентами k , пользуясь которыми значение K может быть найдено из следующего выражения*:

$$K = k_1 k_2 k_3 k_4 k_5$$

Средние значения коэффициента k_1 , выражающего влияние размеров пробиваемых отверстий на сопротивление разделению, приведены в табл. XII-3.

Коэффициент k_2 при периметре некруглых отверстий ≤ 30 мм находится в пределах 1,08—1,1, при периметре > 30 мм он равен 1,0.

Коэффициент k_3 , выражающий влияние отношения диаметра пуансона $d_{\text{п}}$ к толщине материала h , для отношений $d_{\text{п}}/h \approx 0,5$ равен 1,0, для отношений $d_{\text{п}}/h = 0,2 \div 0,5$ равен 0,85.

Коэффициент k_4 для ступенчатых пуансонов с оптимальными отношениями диаметров равен 0,5, для трубчатых пуансонов он находится в пределах 0,4—0,7.

* Уточненное значение коэффициента K , учитывающее не только пять вышеперечисленных факторов, но и ряд дополнительных, приведено в книге: Б. Н. Бобрынин, Технология штамповки неметаллических материалов, Машгиз, 1962, стр. 90.

Значения коэффициента k_5 , характеризующего влияние подогрева материала, зависят от диаметра пробиваемых отверстий (табл. XII-4).

При штамповке в подогреваемых штампах значения k_5 должны быть умножены на 0,9.

При температурах ниже указанных в табл. XII-4 значения k_5 умножают на 1,1—1,15.

Для некоторых условий штамповки (вырубки) значения коэффициента K приведены ниже:

Вырубка:

без подогрева, с сильным прижимом	1,0
с подогревом материала в термостатах до 110°C	0,85
в штампах, нагретых до $60\text{—}90^\circ\text{C}$	0,7—0,8
с подогревом материала в подогретых штампах	0,6—0,7
Пробивка отверстий ступенчатым пуансоном	0,5

Вырубка и пробивка:

в штампах с притупленными кромками (0,03—0,05 мм)	0,9—0,95
на механических прессах с $n = 100 \div 120 \text{ об/мин}$	1,1
на гидравлических и механических прессах (для механических прессов $n = 25 \div 50 \text{ об/мин}$)	1,0

Удельные сопротивления разделению (в кгс/мм^2) при вырубке отверстий диаметром 10 мм имеют для различных материалов следующие значения:

Гетинакс:

обыкновенный	10—12
фольгированный	11—13
Текстолит	9—10
Стеклотекстолит	
обыкновенный	12—14
фольгированный	13—15
Стекловолокнит	10—11
Органическое стекло	7—8
Винилпласт, винилпроз, СНП	6—8
Полиэтилен	3—4
Фторлон	2,5—3

Расчет усилия прижима $P_{\text{пр}}$ (в кгс) производится по формуле:

$$P_{\text{пр}} = Q_{\text{пр}} S_{\text{пр}}$$

где $Q_{\text{пр}}$ — удельное давление прижима, кгс/мм^2 поверхности разделения;

$S_{\text{пр}}$ — поверхность разделения материала, мм^2 .

Значения $Q_{\text{пр}}$ при штамповке листовых термопластов даны в табл. XII-5, при штамповке без подогрева слоистых материалов и стекловолокнита — в табл. XII-6.

Таблица XII-3
Значения коэффициента k_1

Материал	Значения k_1 при различных диаметрах отверстий (в мм)		
	1—3	3—5	5—10
Гетинакс	1,6	1,3	1,1
Текстолит	1,4	1,3	1,2
Стеклотекстолит	1,2	1,1	1,05
Стекловолокнит	1,5	1,3	1,2
Органическое стекло	1,3	1,3	1,05
Винипласт	1,35	1,1	1,0

Примечание. При диаметре отверстий > 10 мм, а также при вырубке $k_1=1$.

Таблица XII-4
Значения коэффициента k_5

Материал	Температура материала, °C	Значения k_5 при различных диаметрах отверстий (в мм)			
		1—3	3—5	5—10	> 10
Гетинакс	110—125	1,1—1,2	0,9—1,0	0,8—0,85	0,7—0,8
Текстолит	80—100	0,9—1,0	0,85—0,9	0,8—0,85	0,7—0,8
Стеклотекстолит	80—100	1,0	0,95	0,9	0,85
Стекловолокнит	70—80	1,0	0,92	0,85	0,2
Органическое стекло	70—80	0,9	0,8—0,85	0,5—0,6	0,4
Винипласт	100	0,6	0,5	0,4—0,5	0,4—0,5

Таблица XII-5
Удельные давления прижима $Q_{пр}$ (в кгс/мм²)
при штамповке листовых термопластов

Материал	Значения $Q_{пр}$ при различной толщине штампуемого материала (в мм)		
	≤ 1	1—2	2—5
Органическое стекло:			
без подогрева	0,8—1	1,2—1,8	1,8—3,0
с подогревом	0,1—0,15	0,15—0,25	0,25—0,4
Винипласт	0,2—0,3	0,3—0,4	0,4—0,6
Полиэтилен	0,05—0,1	0,1—0,12	0,12—0,15
Фторлон	0,03—0,05	0,05—0,08	0,08—0,1

Таблица XII-6

Удельные давления прижима при штамповке без
подогрева слоистых материалов и стекловолокнита

Материал	Значения $Q_{пр}$, кгс/мм ²		
	отрезка	вырубка	пробивка
Гетинакс	0,4—1	1,5—3,0	2—4
Текстолит	0,1—0,3	1,2—2,5	2—3
Стеклотекстолит	0,2—0,4	1,0—1,5	2—2,5
Стекловолокнит	—	0,8—1,4	1—1,2

Усилие проталкивания $P_{прот}$ (в кгс) определяется из следующего выражения:

$$P_{прот} = K_{прот} P_p$$

где P_p — усилие, потребное для вырубки или пробивки, кгс;

$K_{прот}$ — коэффициент пропорциональности, значение которого может быть выбрано на основе данных табл. XII-7.

Таблица XII-7

Значения коэффициента $K_{прот}$

Материал	Значения $K_{прот}$ при различной толщине материала (в мм)		
	≤ 2	2—5	5—10
Слоистые пластики	0,01—0,03	0,03—0,05	0,05—0,15
Термопласты	0,005—0,02	0,02—0,03	0,03—0,08

Расчет усилия снятия деталей с пуансонов $P_{сн}$ (в кгс) может быть выполнен по следующей формуле:

$$P_{сн} = K_{сн} P_p$$

где $K_{сн}$ — коэффициент пропорциональности.

Для материала толщиной ≤ 3 мм величина $K_{сн}$ находится в пределах 0,06—0,2. Для нагретых слоистых пластиков $K_{сн} = 0,03 ÷ 0,05$. При работе со ступенчатыми пуансонами $K_{сн} = 0,07 ÷ 0,09$, для толстолистовых материалов $K_{сн} = 0,15 ÷ 0,2$.

Изделия без дефектов могут быть получены, если величины перемычек между отверстиями будут не меньше приведенных в табл. XII-8*.

* Подробная таблица для изделий, полученных из реактопластов, имеющих разные размеры и разные отверстия, дана в книге: И. С. Терентьев, Обработка пластмасс, применяемых в машиностроении, Машиностроение, 1965, стр. 78—79.

Таблица XII-8

Величины перемычек (в мм) между отверстиями

Материал	Величины перемычек при различной толщине материала (в мм)				
	≤ 1	1—1,5	1,5—2	2—3	3—5
Органическое стекло	1,8—2	2,5	3	3,5—4	—
Винипласт, ударопрочный полистирол	1,2	2,2	2,8	4	5—6
Полиэтилен, фторлон	1,5—2	2,3—2,8	3—4	4,5	6

ОБРАБОТКА РЕЗАНИЕМ

В соответствии с технологическим значением операций резания они могут быть сгруппированы следующим образом:

- 1) резка (обрезка неровных краев, листов, плит и других изделий, получение заготовок для штамповки);
- 2) точение, фрезерование, сверление и другие операции, сопровождающиеся снятием стружки;
- 3) шлифовка (удаление заусенцев, неровностей поверхности);
- 4) обработка изделий, оформленных в прессформах и штампах (зачистка, сверление и другие операции резания).

Резка

Резка производится при изготовлении:

- 1) листов, плит, труб и других изделий заданных размеров (с ровными краями);
- 2) заготовок в форме полос, планшет и т. п. для переработки их в изделия штамповкой или другими методами.

Для резки могут быть использованы приводные ножницы и станки для распиливания.

При производстве единичных изделий обычно пользуются ручными инструментами.

Материалы толщиной ≤ 3 мм разрезают приводными ножницами разных конструкций; материалы толще 3 мм распиливают, используя при этом дисковые и ленточные пилы, фрезы и абразивные круги.

Приводные ножницы в зависимости от взаимного расположения режущих кромок ножей могут быть с параллельными или наклонными (гильотина) ножами. При продольной резке рулонных материалов пользуются дисковыми ножницами. Качество среза параллельными ножами выше, чем наклонными. Поэтому в тех случаях, когда к срезу предъявляют высокие требования, как это имеет место при резке гетинакса, текстолита и других слоистых материалов, применяют параллельные ножницы, в остальных случаях — гильотинные.

На гильотинных ножницах лезвие ножа устанавливают под определенным углом. При использовании таких ножниц для резки хрупких материалов в зоне, пограничной с линией среза, могут образоваться трещинки, имеющие форму «елочки».

На ножницах с параллельными ножами листы прижимают к плите с усилием $0,5\text{--}0,8\text{ кгс/мм}^2$ поверхности среза. Зазор между ножами должен быть незначительным ($0,01\text{--}0,03\text{ мм}$). Глубина опускания подвижного ножа не должна превышать $0,3\text{--}0,5\text{ мм}$. Необходимо, чтобы углы режущей кромки подвижного ножа имели следующие значения: передний $3\text{--}5^\circ$, задний $8\text{--}10^\circ$.

Гильотинные ножницы характеризуются числом ходов в минуту, наибольшей шириной и толщиной разрезаемого материала и вылетом.

Дисковые ножницы могут иметь одну или несколько пар ножей. При разрезке фольгированных материалов фольга должна быть обращена к неподвижному ножу.

Приводными ножницами автоматического действия оснащают агрегаты для получения листовых материалов.

При повышенных требованиях к качеству среза разрезаемый материал сначала нужно подогреть.

Для получения небольших по размерам заготовок из предварительно нарезанных полос могут быть применены разрезные штампы. Ими обычно пользуются для получения заготовок, очерченных прямыми линиями.

Распиливание

Резка слоистых и листовых материалов толщиной $>3\text{ мм}$ производится распиливанием на станках разных конструкций, оснащенных мощными пылеотсасывающими установками. При небольших объемах работ можно применять ручные ножовки для резки металлов, мелкозубные плотницкие пилы и столярные ножовки.

Распиливание осуществляют дисковыми или ленточными пилами, фрезами и абразивными кругами.

Дисковые пилы используют для прямолинейных, а ленточные — для криволинейных разрезов.

Фрезы из быстрорежущих сталей и особенно с пластинками из твердых сплавов обладают хорошей износостойкостью, поэтому их применяют при длительной работе.

Распиливание материалов, содержащих минеральные наполнители, производят абразивными кругами, так как другие инструменты при этом быстро затупляются и снашиваются.

Пилы для распиливания пластических масс должны быть с мелким шагом и хорошо заточены. Для удаления стружки в пилах через каждые $4\text{--}5$ зубьев делают кольцевые выемки. Чтобы уменьшить разогрев материала, торцы пил должны быть хорошо отшлифованы.

Характеристики дисковых пил для резания разных пластических масс даны в табл. XII-9.

Таблица XII-9

Дисковые пилы

Материал	Параметры, мм			
	высота зубьев	шаг зубьев	диаметр диска	толщина диска
Винипласт	3—4	2—4	250—300	1—4
Слоистые пластики	—	3,5—12,5	300—400	1,5—6
Органическое стекло	≤ 4	3—5 *	150—350	2—3
Полистирол	—	1,7—2,5	—	2—3

* При резке листов толщиной > 12 мм рекомендуется применять пилы с шагом 5—8 мм.

Чем толще материал, тем больше должен быть диаметр диска. Распиливание листов и деталей значительной толщины рекомендуется производить ленточными пилами, характеристика которых дана в табл. XII-10.

Таблица XII-10

Ленточные пилы

Материал	Параметры, мм				
	высота зубьев	шаг зубьев	развод зубьев	толщина полотна	ширина полотна
Винипласт	2,5—3	4—6	0,5—0,7	0,8—1,0	—
Слоистые пластики	—	3,6—6,4	~ 0,5	1,5—6	6—13; 25—38 *
Органическое стекло: толщиной ≤ 10 мм	1,2	2—3	0,2—0,3	0,6	~ 6
» > 10 »	≤ 4	3—5	—	—	22—28

* Узкие полотна применяют для фигурной резки; широкие — для прямой.

Качество среза зависит от скорости подачи.

Дисковые фрезы. Для резки пластических масс могут быть использованы стандартные фрезы. Для того чтобы предотвратить их забивание стружкой рекомендуется выпиливать один зуб через каждые 4—5 зубьев.

Дисковые фрезы, оснащенные пластинками из твердых сплавов, позволяют работать на высоких скоростях и обладают большей износостойкостью.

Режущие грани зубьев фрез характеризуются передним γ и задним α углами.

Рекомендуемые углы заточки зубьев и скорости резания приведены в табл. XII-11.

Таблица XII-11

**Рекомендуемые углы заточки зубьев и
скорости резания**

Материал	Передний угол γ , град	Задний угол α , град	Скорость резания, м/мин
Быстрорежущая сталь Р9	10	16	100—125
Твердый сплав ВК6 . . .	8	16	450—550

Скорость подачи составляет $\sim 0,4—0,6$ м/мин.

Толщина фрез колеблется в пределах 3—5 мм. Для резки органических стекол разработана фреза специальной конструкции. Отличительная особенность этой конструкции — наличие у основания зубьев впадин, которые вмещают всю стружку, но в то же время не накапливают ее. Центральная часть фрезы утолщена.

Абразивные круги. Резка стеклотекстолита и других материалов, содержащих минеральные наполнители, оказывающие абразивное действие на металлы, производится абразивными кругами. Металлические пилы даже при окружной скорости, не превышающей 600 м/мин, быстро выходят из строя, поэтому их применение становится невыгодным.

Размеры круга зависят от толщины разрезаемого материала (табл. XII-12).

Таблица XII-12

**Зависимость размеров круга от
толщины разрезаемого материала**

Толщина разрезаемого материала, мм	Размеры круга, мм	
	диаметр	толщина
≤ 25	300	3
> 25	350	6

Скорость резания равна ~ 3000 м/мин. Скорость подачи зависит от толщины материала; при толщине стеклотекстолита ≤ 25 мм скорость подачи составляет $\sim 0,3—0,6$ м/мин.

Снижение скорости подачи приводит к перегреву материала и режущего инструмента.

Повышение скорости подачи ограничено прочностью круга.

Режимы резания при разрезке разных материалов представлены в приложении 4.

В технологических схемах производства изделий из пластмасс на отдельных стадиях процесса, как правило, применяется механическая обработка со снятием стружки резанием.

Для получения изделий с ровными краями и заданных размеров в процессах производства листов, плит и труб осуществляют резку различными инструментами. Этот процесс был рассмотрен выше.

При изготовлении единичных изделий или небольших серий экономически нецелесообразно делать прессформы. Поэтому такие изделия получают из заготовок (блоков, плит, стержней и др.) механической обработкой — точением, фрезерованием, сверлением и другими процессами резания.

Получить изделия с точными размерами в прессформах не всегда возможно, поэтому в отдельных случаях эти изделия подвергают дополнительной обработке резанием.

По экономическим и конструктивным соображениям не всегда целесообразно оформлять все отверстия и пазы в изделиях непосредственно в прессформе. В этих случаях изделия после извлечения из прессформ дополнительно сверлят и фрезеруют.

При получении изделий прессованием, литьем под давлением и штампованием на изделиях, извлеченных из прессформ, имеются заусенцы, пленки в отверстиях, литники и другие излишки материала или дефекты, требующие одно- или многооперационной дополнительной обработки. Значительное место в этой обработке занимают операции резания.

Механическую обработку пластмасс резанием при производстве массовых изделий осуществляют на специальных станках. Для обработки прессованных и литьевых изделий используются станки разных конструкций с ручным, полуавтоматическим и автоматическим управлением.

При производстве единичных изделий и небольших серий изделий механическая обработка резанием осуществляется на обычных металлорежущих станках — преимущественно на быстроходных с ручным или полуавтоматическим управлением. Реже для этой цели используют деревообрабатывающие станки и ручные инструменты (рубанки, дрели и др.).

При резании к режущим инструментам предъявляют особые требования, обусловленные специфическими свойствами пластмасс.

Резание пластмасс существенно отличается от резания металлов. В число свойств пластмасс, затрудняющих этот процесс, входят низкая теплопроводность, относительно низкая теплостойкость, невысокая твердость и абразивное действие пластмасс, содержащих минеральные наполнители.

В то же время резание пластмасс протекает легче, чем резание металлов, вследствие того, что сопротивление сжатию и срезу у

пластмасс ниже, чем у металлов. Поэтому обработка пластмасс может производиться при более высоких скоростях, чем это принято при обработке металлов.

Особенности процесса резания пластмасс потребовали специальной разработки геометрических параметров режущих инструментов и режимов резания. При этом было учтено, что максимальная температура процесса не должна превышать 160°C для термореактивных и $60\text{—}130^{\circ}\text{C}$ для термопластичных полимеров. Из приведенных данных следует, что при обработке термореактивных материалов можно применять большие, чем для термопластов, скорости резания.

При обработке металлов большая часть возникающей в процессе резания теплоты уходит в изделие, а при обработке пластмасс — в инструмент.

При резании пластмасс нельзя пользоваться жидкими хладагентами; при этом могут ухудшиться физико-механические свойства материалов. Допускается только воздушное охлаждение.

При обработке пластмасс точением максимальная чистота поверхности достигает 7—8 классов.

При обработке термореактивных пластмасс (особенно, наполненных минеральными наполнителями, оказывающими абразивное действие на инструмент) применяют твердые сплавы, обладающие повышенной износостойкостью.

Для обработки термопластов можно пользоваться инструментом, изготовленным из углеродистых и быстрорежущих сталей, но при больших количествах изделий (особенно с узкими допусками) рекомендуется использовать резцы с пластинками из твердых сплавов, превосходящие по стойкости резцы из быстрорежущей стали в 9—10 раз.

Режущие грани инструмента должны быть остро заточены. Однако возможны исключения из этого правила. Например, при сверлении винипласта режущие грани сверл должны быть притуплены.

Доводку режущих граней пластинок из твердых сплавов нужно производить пастой из карбида бора или алмазным кругом.

Точение Точение массовых изделий осуществляют на специальных станках. В остальных случаях для этой цели используют обычные металлорежущие станки общего назначения.

Геометрические параметры резцов: передний угол γ , задний угол α , главный угол в плане ϕ , угол наклона режущей кромки λ , ширина фаски f (в мм).

Режим резания характеризуется скоростью резания v (в м/мин), подачей s (в мм/об).

Рекомендуемые геометрические параметры резцов приведены в табл. XII-13.

Таблица XII-13

Геометрические параметры резцов

Обрабатываемый материал	Материал режущего инструмента	Геометрические параметры				
		γ°	α°	φ°	λ°	f мм
Стеклотекстолит	ВКЗМ, ВК6М	18	15	45	0	2—3
Стекловолокнит	ВКЗМ, ВК6М	18	15	45	0	2—3
АГ-4В	ВК2, ВК4	10	20	45	0	2—3
Фенопласты	ВК2, ВК4	10	20	45	0	2—3
Аминопласты	ВК2, ВК4	10	20	45	0	2—3
Волокнит	ВК2, ВК4	10	20	45	0	2—3
Текстолит	ВК2, ВК4	10	20	45	0	2—3
Гетинакс	ВК2, ВК4	10	20	45	0	2—3
Капрон	ВК3	3	16	45	6	—
Винипласт	ВК8	10	20	45	0	—
	P18	20	20	45	0	—
Полистирол	P18	15—20	10—14	45—65	—	—
Фторлон-4	P18	10—15	10—14	45—65	—	—

Режимы резания и стойкость резцов при точении пластмасс даны в приложении 5.

В зависимости от вида обработки скорость резания корректируется поправочными коэффициентами, значения которых приведены ниже.

Прходными резцами:

$\varphi = 45^\circ$ 1

$\varphi = 60^\circ$ 0,9

Подрезными резцами ($\varphi = 90^\circ$) 0,8

Отрезными » 0,7

Расточными » 0,9

Нарезание резьбы

Способ нарезания резьбы зависит от размеров конструкции и материала обрабатываемой детали. Наружная резьба нарезается плашками, фрезами и резцами, внутренняя — азотированными или хромированными метчиками.

Внутренняя и наружная резьбы больших диаметров выполняются на токарно-винторезных станках. Глубина резания не должна превышать 0,1—0,2 мм.

Следует избегать нарезания треугольной резьбы с острой вершиной.

Резьбонарезной инструмент должен иметь отрицательный передний угол.

Необходимо, чтобы метчики были с узкими перьями, полированными канавками и шлифованным профилем. Количество перьев должно быть минимальным. Рекомендуется применять метчики, нарезанные через шаг,

При нарезании резьбы в слоистых материалах отверстие должно быть строго перпендикулярным по отношению к слоям наполнителя.

Средний диаметр метчиков должен быть больше заданного диаметра резьбы на 0,04—0,05 мм для порошкообразных и на 0,05—0,1 мм для волокнистых материалов.

Скорость резания при нарезании резьбы находится в пределах 15—25 м/мин.

В деталях из эластичных материалов резьбу лучше нарезать резцами. Внутренняя резьба нарезается метчиками из быстрорежущей стали с отрицательным передним углом $\gamma = -(5 \div 10)^\circ$.

Фрезерование Фрезерование массовых однотипных изделий производится на специальных станках. В остальных случаях пластические массы фрезеруют на быстходных станках, предназначенных для обработки металлов — горизонтальных, вертикальных и универсальных. Для фрезерования пригодны и гибкие шланги с быстходными шпинделями, электро- и пневмодрели. Реже для фрезерных работ используют быстходные деревообрабатывающие станки.

При увеличении скорости вращения фрез уменьшается нагрев.

В качестве режущего инструмента обычно применяют фрезы из быстрорежущей стали или с пластинками из твердых сплавов.

Рекомендуется применение фрез с увеличенным объемом канавок, спиральным зубом и большим наклоном спирали. Фрезы

Таблица XII-14
Геометрические параметры режущей части зуба фрезы

Обрабатываемый материал	Материал режущего инструмента	Геометрические параметры режущей части зуба, град		
		γ	α	ϕ

Торцовые фрезы

Текстолит Б	P18, P9	12	20	45
	BK6	8—10	20	45
Стеклотекстолит КАСТ-1	P9	8—10	26	45
	BK6	5	16	—
Гетинакс	P18	12	20	45
Винипласт	BK8	10	20	45
Стекловолокнит АГ-4	P18, P9	0—10	5—10	—

Цилиндрические фрезы

Текстолит	P9	10	20	20
Гетинакс	BK4	5	18	0

с мелким зубом и сравнительно большим углом спирали успешно используют для обработки органического стекла и других термопластов.

Режущие грани зубьев фрез характеризуются передним углом γ , задним углом α и главным углом в плане ϕ (табл. XII-14).

Режимы резания при фрезеровании некоторых пластмасс и стойкость фрез приведены в приложении 6.

Сверление

Для сверления отверстий в массовых изделиях разработаны специальные настольные и полуавтоматические сверлильные станки. В остальных случаях сверление производится на быстроходных сверлильных станках, предназначенных для обработки металлов. Можно использовать также ручные (электрические или пневматические) дрели. Обработываемую деталь необходимо жестко прикреплять к столу станка.

Сверление надо производить сверлом, диаметр которого больше номинального отверстия на 0,05—0,1 мм.

При сверлении должно быть обеспечено непрерывное удаление стружки; малейшее ее застревание и скопление в отверстии вызывает большое трение, а следовательно, и перегрев, который может повредить изделие. Завышенный режим резания при сверлении приводит к обугливанию материала. Большое теплообразование вызвано не только трением задней кромки сверла, но и трением направляющих сверла о стенки отверстия.

Во избежание забивания канавок сверло во время сверления отверстий (особенно глубоких) надо выводить несколько раз. Вывод сверла из отверстия должен быть плавным и равномерным. Канавка сверла должна иметь хорошо обработанную поверхность, это облегчает выход стружки.

Сверление производят при большом числе оборотов и малой подаче.

Отверстия диаметром >10 мм рекомендуется сверлить в два приема: предварительно сверлом, имеющим диаметр 5—6 мм, а затем сверлом нужного диаметра.

При сверлении в органическом стекле отверстий диаметром >6 мм предварительно сверлят отверстия диаметром 3—4 мм, а затем расфрезеровывают их специальной фрезой.

При обработке изделий, полученных из порошковых материалов, неправильный выбор угла при вершине сверла может привести к выкрашиванию и образованию трещин.

При сверлении винипласта нельзя пользоваться острым инструментом, так как острозаточенное сверло при врезании и выходе из материала может произвести расщепление и вырыв материала.

Обычно для сверления используют стандартные — цилиндрические и спиральные сверла. Для реактопластов могут быть рекомендованы также перовые сверла, однако на волокнистых и слоистых

материалах они не обеспечивают получения хорошей поверхности. Рекомендуемые конструкции сверл изображены на рис. XII-4.

Сверла диаметром >10 мм могут быть изготовлены с пластинами из твердых сплавов. Износостойкость этих сверл больше, чем сверл из быстрорежущей стали, в 10 раз.

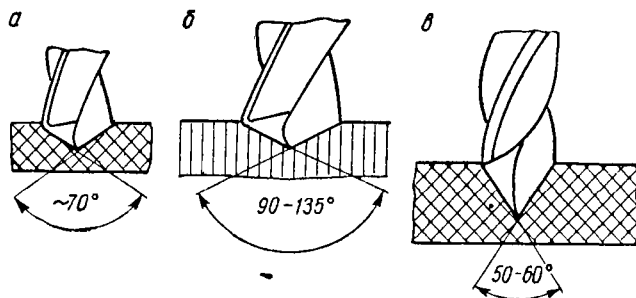


Рис. XII-4. Рекомендуемые конструкции сверл:

а — для сверления термопластов (материал сверла — углеродистая сталь); *б* — для сверления глубоких отверстий в слоистых пластиках параллельно слоям (материал сверла — быстрорежущая сталь); *в* — для сверления термореактивных прессматериалов и слоистых пластинок.

Характеристикой сверл могут служить следующие геометрические параметры: угол наклона в спирали ω , угол при вершине сверла 2ϕ , представленный на рис. XII-4, и углы заточки режущих граней.

Для сверления деталей из термореактивных материалов рекомендуют угол $\omega=10^\circ$ и задний угол режущей грани в пределах $10-14^\circ$.

Характеристика спиральных сверл дана в табл. XII-15.

Режимы резания при сверлении и рассверливании отверстий в пластмассах, а также стойкость сверл приведены в приложении 7.

Таблица XII-15

Сверла спиральные

Обрабатываемый материал	Материал инструмента	Угол 2ϕ , град
Текстолит ПТ	P18	116—118
Гетинакс	P18	90—100
Винипласт	P9, У10А	110—130
Фенопласт К18-2	P18, BK6	116
Аминопласт МФ	P18, P9	30
	BK6	60
Полиэтилен	P18	110
Фторлон-4	P18	118
Стекловолокнит АГ-4	P18	55—70

Шлифование

Шлифованием удаляют заусенцы, риски, царапины, неровности поверхности и доводят изделие до нужных размеров.

Для шлифования изделий из пластмасс можно применять станки с вращающимися абразивами (камнями или кругами с абразивными пастами), в том числе используемые для шлифования режущих инструментов; ленточные шлифовальные станки с бесконечными наждачными лентами, расположенными горизонтально или вертикально; станки с дисками, на которых наклеено наждачное полотно (диски могут быть расположены вертикально или горизонтально).

Ленточные станки применяются преимущественно для зачистки изделий.

Дисковые станки используют для зачистки заусенцев и обработки кромок листовых материалов. Диаметр дисков достигает 300—400 мм.

Для обработки небольших количеств изделий пригодны машинки с гибкими шлангами (с пневматическим или электрическим приводом).

Шлифование производят шлифовальными камнями, наждачными полотнами, бумагами и кругами — войлочными или из шерстяных и хлопчатобумажных тканей с нанесенными на них шлифовальными пастами.

При работе с матерчатыми кругами часто в качестве абразивного материала используют отмученные — пемзу или трепел. Изделие обязательно должно перемещаться относительно круга, так как иначе обработка будет производиться только в одном месте.

Удельное давление прижима изделия к кругу должно быть в пределах 0,5—1,5 кгс/см².

Во избежание прижога материала о торец круга при обработке неподвижных изделий необходимо обеспечить прерывистость контакта с длительностью соприкосновения 1—1,5 сек.

При обработке изделий наждачными полотнами и шкурками удельное давление прижима изделия составляет 0,5—1 кгс/см². Шлифование обычно ведется в две стадии обработки — черновой и чистовой.

Для черновой обработки применяют абразивные полотна № 20—50 (крупные зерна); для чистовой — № 200—240 (мелкие зерна).

Режимы резания при шлифовании даны в приложении 8.

Полирование

Для придания обработанным поверхностям блеска применяется полирование при помощи хлопчатобумажных или шерстяных кругов.

Полировальные круги толщиной 40 мм и диаметром 60—250 мм собирают из слоев ткани, которые зажимаются между металлическими шайбами. Эти круги укрепляют на станках и вращают их

с окружной скоростью 15—35 м/сек, число оборотов при этом находится в пределах 1000—2000 об/мин.

Обычно полирование производят в две стадии: предварительное и окончательное. Предварительное полирование производится с пастами, которые наносятся на круг (окись хрома, ВИАМ-2 и др.), окончательное — сухими хлопчатобумажными (без паст) кругами, при этом нажим должен быть незначительным.

Полирование мелких деталей производят в галтовочных барабанах.

ОБРАБОТКА ИЗДЕЛИЙ

Для удаления заусенцев, пленок и литников изделия обрабатывают — зачищают. Зачистка их может производиться в одну или две ступени. При одноступенчатой зачистке удаляют избыток материала и ликвидируют неровности на поверхности изделий. При двухступенчатой зачистке после удаления заусенцев или литников производится полировка.

В некоторых изделиях невыгодно оформлять в прессформах отверстия, резьбу и пазы. В этих случаях в готовых изделиях сверлят отверстия, нарезают резьбы и фрезеруют пазы.

Снятие заусенцев можно производить абразивами (кругами, полотноми, порошками), резцами, фрезами и напильниками.

Толстые литники на изделиях из термопластов хорошо удаляются дисковыми фрезами и специальными откусывающими приспособлениями с обогревом, позволяющим нагревать отрезаемый литник.

В связи с тем, что однотипные изделия могут несколько отличаться между собой геометрическими размерами, разработаны специальные инструменты для механической обработки (рис. XII-5), компенсирующие неточности геометрических размеров и установки.

При выпуске изделий в небольших количествах их обрабатывают вручную.

При ручной зачистке применяют опилование с помощью напильников — плоских и полукруглых, драчевых, шлифных и надфилей с углом насечки 45°. Ручное опилование производится при зачистке деталей, установленных на токарных и универсальных зачистных станках. В этих случаях детали зажимают в специальных цанговых оправках (на токарных станках) или насаживают на сменные оправки (на универсальных зачистных станках) и вращают при помощи шпинделя станка; заусенцы снимают напильником вручную. Круглый напильник можно зажимать в цанговой оправке станка и вращать; деталь подводится к нему вручную.

Для механической обработки массовых изделий применяют специализированные и универсальные станки.

Специализированные станки предназначены для обработки определенных изделий, выпускаемых в массовых количествах.

Универсальные станки используют для обработки группы аналогичных изделий, выпускаемых серийно.

Разработаны универсальные полуавтоматические станки для механической обработки не только подобных, но и различных по конфигурации изделий, объединяемых аналогичными способами обработки.

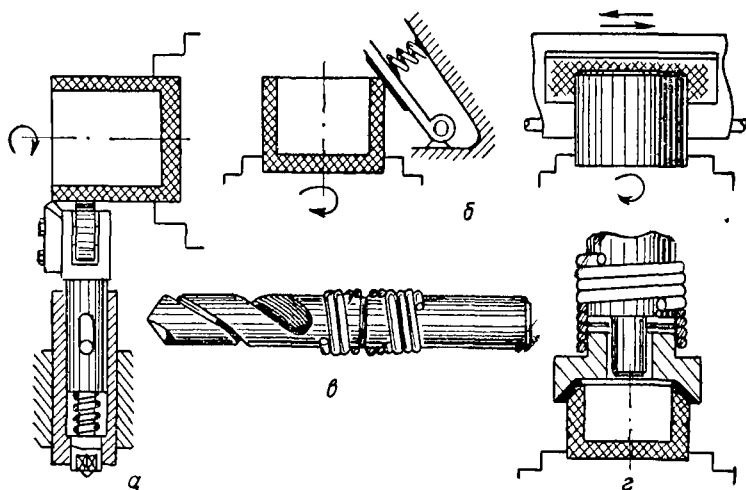


Рис. XII-5. Специальные инструменты для механической обработки изделий из пластмасс:

а — подпружиненный резцедержатель с копирующим роликом; *б* — напильник на подпружиненной оправке; *в* — «гибкое» сверло; *z* — «плавающая» фреза.

Выбор оборудования для обработки изделий зависит от числа операций, из которых складывается процесс обработки, а также требований, предъявляемых к качеству обработанных изделий.

На универсальном полуавтоматическом станке для обработки изделий круговой формы могут быть удалены заусенцы с изделий разных диаметров и разной высоты. Один из таких станков (конструкции Кудакова) изображен на рис. XII-6. Он состоит из узла (набора) абразивных кругов 3 и транспортирующего устройства 6. В свою очередь, транспортирующее устройство состоит из приводного 4 и ведомого 9 дисков, направляющей 2, ленты 5, прижимной планки 7 и прижимов 8. Изделия 1 укладывают вручную между направляющей 2 и транспортерной лентой 5, которая перемещает их

вдоль направляющей. Между столом 10 и направляющей в средней части станка имеется щель. Когда заусенцы на изделиях попадают в эту щель, то они шлифуются вращающимися абразивными кругами.

Полуавтоматический станок для комплексной механической обработки изделий прямоугольной формы (рис. XII-7) может выполнять следующие операции:

- 1) предварительную обработку заусенцев, расположенных на торцевой части изделия;
- 2) окончательную обработку заусенцев;
- 3) прорезку двух пазов;
- 4) пробивку пленок;
- 5) фрезерование центрального отверстия;
- 6) протирку изделий.

Все устройства для выполнения перечисленных операций расположены на одной станине (плите) 11. Перемещение изделий от одного устройства к другому обеспечивается при помощи вращающегося червяка 16. Изделие 1 укладывают вручную в гнездо 3, расположенное на рычаге 2, при помощи которого оно подается к червяку. Вращающийся червяк перемещает это изделие вдоль направляющей 15 и транспортирует его к приспособлениям для предварительной 4 и окончательной 5 обработки заусенцев, прорезки пазов 6, фрезеровки центрального отверстия 7 и очистки изделий щетками.

Возвратно-поступательное перемещение приспособления для фрезерования осуществляется рычагом 8, который приводится в действие кулачком 10 через ролик 9. Кулачок установлен на валу червяка. Все приспособления для обработки приводятся в действие от одного электромотора.

Полная автоматизация процесса обработки изделий требует автоматического питания станка. Лишь в этом случае полуавтомат может быть превращен в автоматический станок.

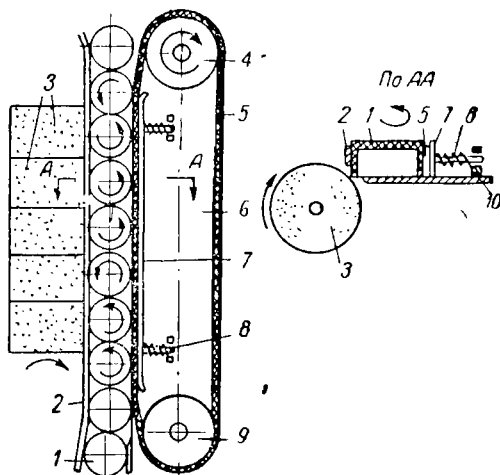


Рис. XII-6. Универсальный полуавтоматический станок для обработки круглых изделий:

- 1—обрабатываемое изделие; 2—направляющая; 3—узел абразивных камней; 4—приводной диск; 5—транспортная лента; 6—транспортное устройство; 7—прижимная планка; 8—прижим; 9—ведомый диск; 10—стол.

Разработаны автоматические универсальные и специализированные питатели разных типов — бункерные, дисковые, ленточные и вибрационные.

Универсальный вибрационный питатель, пригодный для автоматической загрузки небольших изделий разного типа, изображен на рис. XII-8. Он состоит из основания 1 и чаши 4, на внутренней поверхности которой имеется спиральный желоб 3 для транспортировки изделий. Чаша приводится в колебательное движение элек-

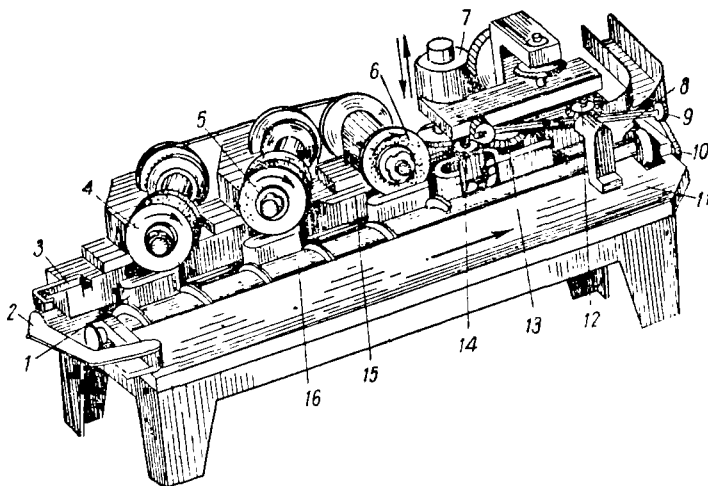


Рис. XII-7. Полуавтоматический станок для комплексной механической обработки изделий прямоугольной формы:

1 — обрабатываемое изделие; 2, 8 — рычаги; 3 — гнездо; 4, 5 — устройства для предварительной и окончательной обработки заусенцев соответственно; 6 — устройство для прорезки пазов; 7 — устройство для фрезерования центрального отверстия; 9 — ролик; 10 — кулачок; 11 — монтажная плита; 12, 13 — вращающиеся щетки; 14 — коническая фреза; 15 — направляющая; 16 — червяк (винт).

тромагнитными вибраторами 2. Изделия загружают в чашу. Часть из них, попавшая в нижнюю часть желоба, поднимается вверх под действием колебания и направляется к загрузочному лотку станка для механической обработки.

Специализированный автоматический станок (конструкции Кочуркова) для обработки круглых изделий изображен на рис. XII-9. Автомат снабжен питателем дискового типа. Изделия загружаются в бункер 12 питателя при вращающемся диске 11, затем попадают в гнезда 10 и оттуда — в лоток 9. Из лотка они поступают в пространство между двумя дисками 6, которые вращаются в разных направлениях и с разной скоростью, вследствие чего изделию сообщаются вращательное и поступательное движения. Вращающимся шлифовальным кругом 5 с изделий снимаются заусенцы. Обра-

ботанные изделия подают на лоток 4. Электродвигатель 1 при помощи клиноременной передачи 2 и червячных редукторов 7 приводит в движение рабочие диски 6 и шлифовальный круг 5. Вращение питающего диска осуществляет электродвигатель 13.

В зависимости от диаметра обрабатываемого изделия изменяют зазор между рабочими дисками с помощью регулятора 8.

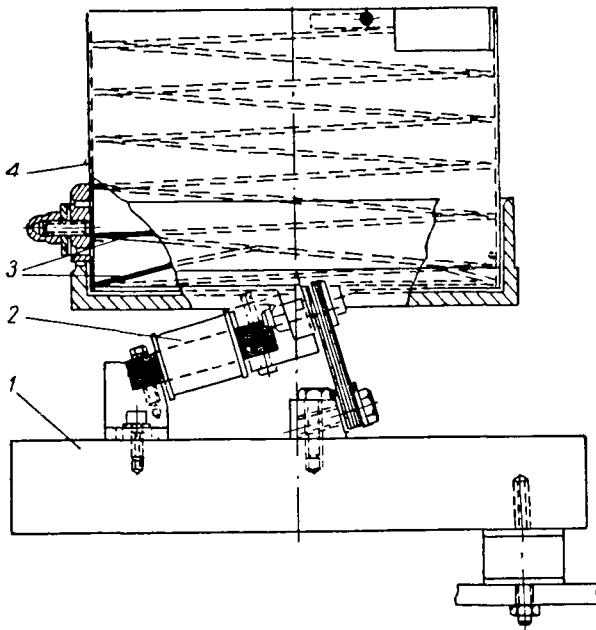


Рис. XII-8. Автоматический вибрационный питатель для поштучной подачи изделий в обрабатывающие станки:

1 — основание; 2 — электромагнитный вибратор; 3 — желоб;
4 — чаша.

Очень часто для сверления отверстий используют многошпиндельные сверлильные станки, имеющие малые габариты. Один из таких станков, на котором можно просверлить одновременно семь отверстий в изделиях сферической формы, изображен на рис. XII-10. Изделия устанавливают на стол 2 и затем при помощи рукоятки 1 поднимают таким образом, что сферическая часть изделия входит в гнездо кондуктора 9. Вращение на сверла 7 передается от электродвигателя 5 через хвостовик 6 и резиновый диск 4, имеющий фрикционное сцепление с ведомыми дисками 3. Сверла закреплены в цанговых патронах 8.

Удаление заусенцев на разнотипных изделиях можно вести в галтовочном барабане. Он состоит из деревянного или металлического каркаса, обтянутого металлической сеткой. Обрабатываемые изделия загружаются в барабан вместе с деревянными брусками

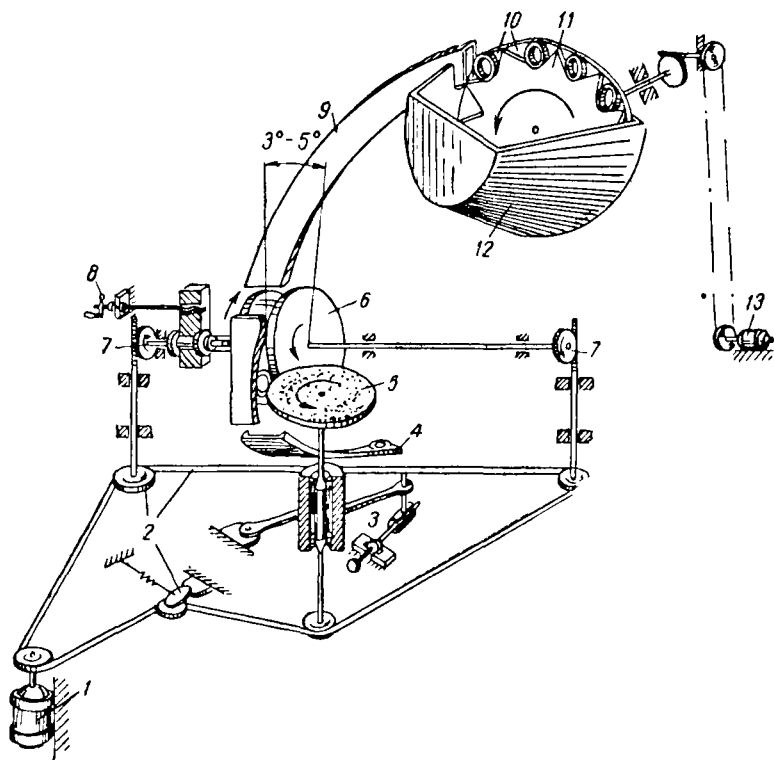


Рис. XII-9. Специализированный автоматический станок для обработки круглых изделий:

1, 15 — электродвигатели; 2 — клиноременная передача; 3 — регулятор размера фаски; 4, 9 — лотки; 5 — шлифовальный круг; 6 — рабочие диски; 7 — червячные редукторы; 8 — регулятор зазора между рабочими дисками; 10 — гнезда; 11 — питающий диск; 12 — бункер.

(40×40×10 мм) или абрикосовыми косточками, или кусочками синтетического материала. Во время вращения барабана счищенные заусенцы просыпаются через отверстия сетки. Толщина заусенцев на изделиях, обрабатываемых в галтовочных барабанах, не должна превышать 0,3 мм.

Одновременная обработка разнотипных изделий может также производиться на универсальных станках многих конструкций,

одна из которых изображена на рис. XII-11. Этот станок состоит из бесконечной перфорированной ленты 3, огибающей диски 4, 5 и 6. Лента приводится в движение электродвигателем 1. Изделия 7, подлежащие обработке, загружают на ленту вместе с песком. При движении ленты они перемешиваются с песком и постепенно заусенцы отделяются от изделий и просыпаются вместе

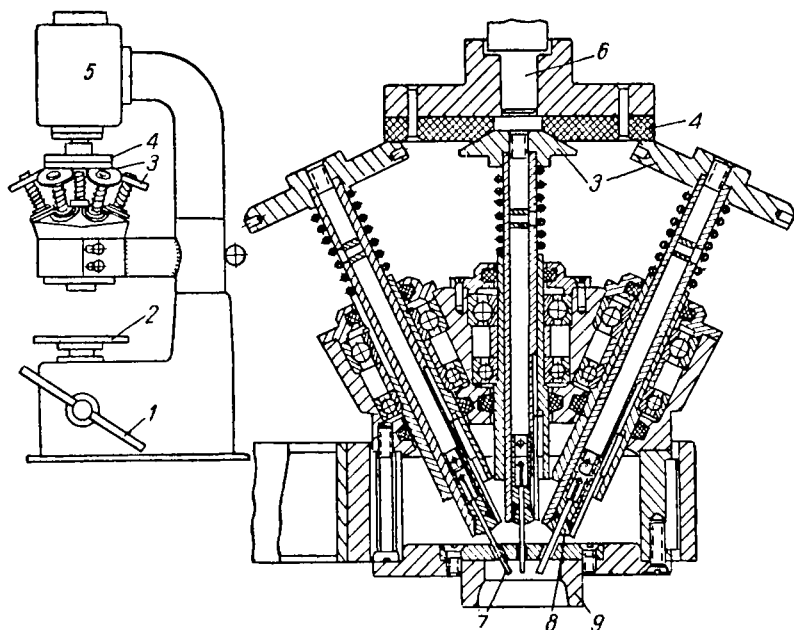


Рис. XII-10. Настольный многошпиндельный сверлильный станок:

1 — рукоятка; 2 — стол; 3 — ведомые диски; 4 — резиновый диск; 5 — электродвигатель; 6 — хвостовик; 7 — сверло; 8 — цанговый патрон; 9 — гнездо кондуктора.

с песком через отверстия ленты. Просыпавшаяся смесь транспортируется в сепаратор 2, где происходит отделение песка от отходов.

Особенности обработки пенопластов. Пенопласты можно резать, распиливать, строгать, фрезеровать и сверлить.

Для резки пенопластов на основе полистирола (ПС-1 и др.), а также пенополиуретана можно пользоваться нихромовой проволокой, нагретой до 250—300° С.

Распиливание и обрезку заготовок производят на столярных ленточнопильных станках.

Обрезку кромок, строгание, фрезерование осуществляют электропилами и электрофуганками, стационарно закрепленными на

круглопильных, фуговально-строгальных, рейсмусовых и фрезерных станках.

Сверление производят на горизонтально- и вертикально-сверлильных станках.

Для обработки пенопластов используют инструмент, аналогичный деревообрабатывающему, но с другими углами заточки.

Распиливание производят ленточными столярными пилами шириной 12—35 мм. Для разрезания больших блоков инструмент располагается горизонтально. На круглопильных станках рекомендуется применять дисковые пилы с разводом и косой заточкой, строгальные пилы без развода с косой заточкой и отрезные фрезы.

На фуговально-строгальных, рейсмусовых станках и электрофуганках рекомендуется применять строгальные ножи с углом заострения $\beta = 36^\circ \div 45^\circ$. Ножи устанавливают по 2—4 шт. на круглых головках и валах.

Фрезерование по контуру осуществляют цилиндрическими фрезами с мелкими косыми зубьями; фрезерование продольных пазов — пазовыми, распиливание — отрезными фрезами.

Сверление производят специальными сверлами в виде пустотелых трубок.

Режимы механической обработки пенопластов даны в приложении 9.

МЕТАЛЛИЗАЦИЯ ПЛАСТМАСС

Металлизацию пластмасс осуществляют для получения токопроводящего слоя, повышения поверхностных механических свойств, например увеличения твердости, и других целей. Наибольшее распространение получили гальванический, химический и вакуумный методы металлизации.

Сущность гальванического метода заключается в том, что пластмассу покрывают тонким слоем воска и на него методом напыления наносят токопроводящий порошок, например графит; затем

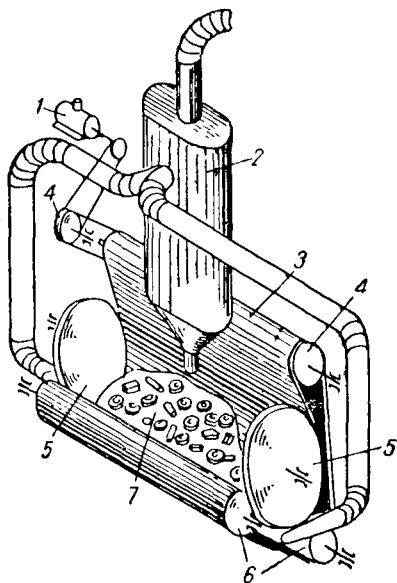


Рис. XII-11. Универсальный станок для одновременной обработки разнотипных изделий:

1 — электродвигатель; 2 — сепаратор; 3 — бесконечная перфорированная лента; 4 — ведущий диск; 5, 6 — ведомые диски; 7 — обрабатываемые изделия.

пластмассу опускают в ванну для гальванического нанесения металла.

Химический метод металлизации можно пояснить на примере серебрения. Пластмассовое изделие обрабатывают раствором хлористого олова и опускают в аммиачный раствор азотнокислого серебра. В качестве восстановительного раствора применяют также формалин.

Вакуумная металлизация основана на том, что металл испаряется при нагревании в условиях глубокого вакуума (остаточное давление составляет 10^{-3} — 10^{-5} мм рт. ст.).

Пластмассовые изделия после тщательной промывки и сушки помещают на стенках камеры, в центре которой расположены нагреваемая током вольфрамовая спираль и лента или скоба испаряемого металла. Внутри камеры находятся также электроды для ионной бомбардировки пластмассы в качестве подготовительной операции перед металлизацией.

Применяется также катодная металлизация. Металлический катод распыляется в условиях остаточного давления (от нескольких до 10^{-3} мм рт. ст.). Катодное распыление дает тончайший слой металла, но сопровождается значительным нагреванием камеры, что для многих пластмасс нежелательно.

СВАРКА И СКЛЕИВАНИЕ

СВАРКА

Сваркой называется неразъемное скрепление деталей посредством соединения расплавленных участков. Поскольку отвержденные термореактивные пластики не способны плавиться, сварка применяется лишь для соединения термопластичных материалов.

При сварке происходит взаимная диффузия молекулярных цепей или их участков в поверхностные слои сплавляемых деталей. Для того чтобы диффузия проходила достаточно интенсивно, поверхностные слои свариваемых пластиков нагревают до вязкотекучего состояния и соединяют под давлением, обеспечивающим полный контакт свариваемых поверхностей.

Температурный интервал сварки определяется зоной вязкотекучего состояния пластика. Для таких материалов, как полиэтилен, полистирол и некоторые другие, температурный интервал широк и некоторое отклонение от средней температуры сварки допустимо, но для полиамидов и ряда других материалов с узкой зоной вязкотекучего состояния необходимо точно выдерживать заданную температуру сварки.

Температура сварки и мощность нагревателей зависят от теплофизических свойств пластика. Эти свойства могут значительно изменяться даже для одного и того же полимера, поэтому сварочные нагреватели изготавливают со значительным запасом мощности.

При увеличении толщины свариваемых деталей должна быть повышена мощность нагревателя. Для каждого полимера имеется такая максимальная толщина, выше которой нельзя получить на данном сварочном аппарате высококачественного сварного шва. Чрезмерное повышение температуры сварки приводит к вытеканию материала у рабочей поверхности. При одинаковой температуре размягчения материалов можно сваривать более толстые детали из того пластика, который имеет более высокий коэффициент теплопроводности и более низкую удельную теплоемкость.

Удельное давление сварки определяется в основном текучестью материала в процессе сварки, но колеблется в сравнительно узких пределах, составляя в среднем 5—10 кгс/см². Недостаточное дав-

ление может быть частично компенсировано повышением температуры сварки. Чрезмерное повышение давления нецелесообразно, так как, не повышая прочности сварки, оно может привести к деформации изделия.

На рис. XIII-1 представлена зависимость продолжительности сварки полиэтиленовой пленки от температуры при двух различных давлениях. При повышении давления снижаются диапазон

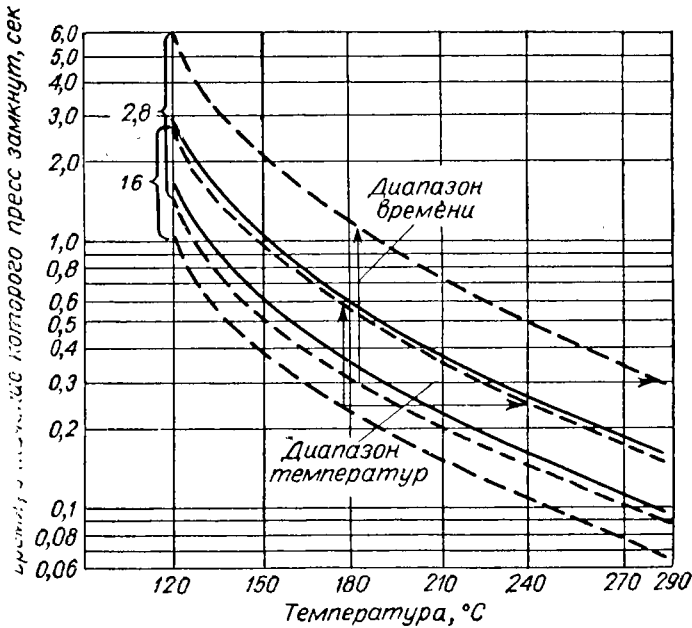


Рис. XIII-1. Зависимость продолжительности сварки от температуры при двух различных давлениях.

Полиэтиленовая пленка толщиной 0,038 мм; цифры на графике — давление в кгс/см².

температур сварки и ее продолжительность, что объясняется повышением текучести материала.

Методы сварки

Наибольшее распространение в настоящее время получили следующие способы сварки: 1) горячим газом, 2) нагретым инструментом, 3) теплоизлучением, 4) термоимпульсная, 5) сварка трением (фрикционная), 6) индукционная, 7) высокочастотная, 8) ультразвуковая и 9) сварка с использованием шприц-машины.

Выбор метода сварки определяется природой материала, толщиной свариваемых деталей, их конструкцией и т. д.

Сварка горячим газом (рис. XIII-2) производится посредством сварочной горелки (пистолета), представляющей собой стальную

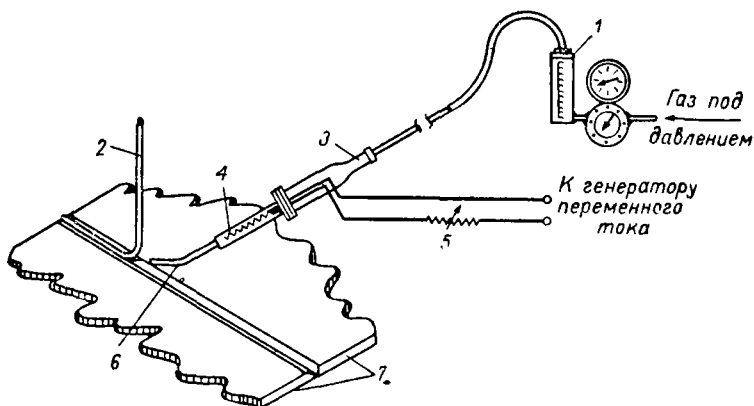
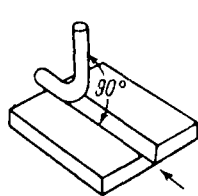


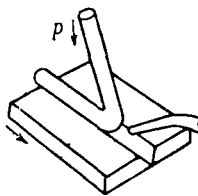
Рис. XIII-2. Схематическое изображение процесса сварки горячим газом:

1—регулятор давления и расходомер; 2—сварочный пруток из термопласта; 3—сварочный аппарат; 4—элемент для подогрева газа; 5—регулятор температурного режима; 6—наконечник сварочного аппарата; 7—свариваемые листы из термопластичного материала.

трубку, внутри которой расположены нихромовые спирали, нагреваемые электротоком. Газ подается компрессором под давлением $1,35\text{--}2\text{ кгс/см}^2$ и нагревается до $220\text{--}300^\circ\text{C}$ в зависимости от температуры размягчения пластика. Для сваривания поливинилхлоридных пластиков применяется воздух, а для пластиков, способных окисляться кислородом воздуха, — азот.



Жесткий
поливинилхлорид



Полиэтилен

Рис. XIII-3. Положение сварочного прутка в процессе сварки.

горячего газа. Одновременно к месту соединения прижимают под небольшим давлением сварочный пруток, изготовленный из того же материала, что и свариваемый пластик. Сварочный пруток размягчается и укладывается, образуя сварной шов (рис. XIII-3). Оптимальный угол, составляемый прутком с плоскостью сварного шва, выбирается в зависимости от природы пластика. Так, для сварки винипласта этот угол близок к 90° , а для менее жестких

пластиков, например, полиэтилена, пруток прикладывают под большим углом, чтобы создать достаточное давление на свариваемые поверхности. Сварочный пруток не расплавляется целиком, а лишь размягчается с поверхности, сердцевина его остается жесткой, что способствует созданию давления.

На прочность сварного соединения влияют форма и профиль шва, диаметр прутка и температура горячего газа.

Наиболее распространенные формы сварных швов представлены на рис. XIII-4.

Перед сваркой с кромки листа вручную или на фрезерном станке снимается фаска под углом около 60° в зависимости от толщины свариваемых листов. С увеличением толщины свариваемых листов угол скоса увеличивается.

Повышение температуры сварки ускоряет процесс и повышает прочность шва. Однако работа при повышенной температуре во избежание перегрева и пережога материала требует более высокой квалификации сварщика.

Диаметр сварочного прутка составляет обычно 2—3,5 мм, такой же диаметр имеет сопло сварочной горелки. Сопло располагают на расстоянии 5—6 мм от поверхности шва во избежание пережога пластика, причем угол, образуемый соплом с плоскостью шва, составляет $15\text{—}20^\circ$ для плит толщиной <10 мм и $30\text{—}45^\circ$ при большей их толщине.

Несмотря на широкое распространение, сварка горячим газом имеет немало серьезных недостатков, важнейшими из которых являются следующие:

- 1) низкая производительность (~ 2 м/сек);
- 2) прочность сварного соединения может колебаться в широких пределах даже при высокой квалификации сварщика (от 30 до 80% прочности основного материала), так как она зависит от многих факторов, не поддающихся объективному контролю;
- 3) ударная вязкость сварного шва низка, так, при сварке винипласта она составляет около $1/12$ ударной вязкости основного материала.

Сварка нагретым инструментом широко применяется для соединения труб, пленок и листов. Свариваемые поверхности оплавляют нагретым металлическим инструментом (паяльники, никелированные или хромированные металлические пластины и др.), после чего соединяют под небольшим давлением.

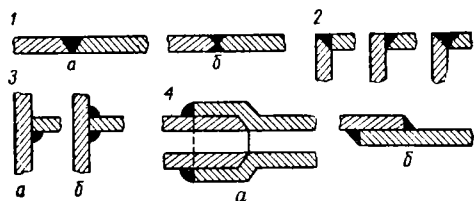


Рис. XIII-4. Формы сварных швов:

1 — встык по V-образному (а) и Х-образному (б) профилю; 2 — угловой; 3 — валиковый одно- (а) или двухрядный (б); 4 — внахлестку с односторонней (а) или двухсторонней (б) приваркой.

Температура нагрева инструмента зависит от температуры размягчения свариваемых материалов и составляет (в °С) для:

Полиметилметакрилата	315—349
Линейного полиэтилена	204
Разветвленного полиэтилена	149—204

Понижение температуры сварки приводит к уменьшению прочности шва, чрезмерное же повышение — к пригоранию материала.

При сварке тонких листов внахлестку (рис. XIII-5) по месту их соединения проводят электронагреваемым наконечником, непосредственно за которым следует ролик, проглаживающий сваренные края.

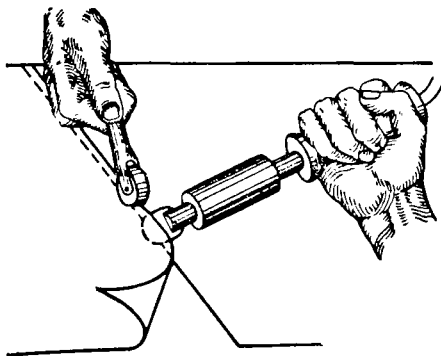


Рис. XIII-5. Сварка с помощью нагретого наконечника.

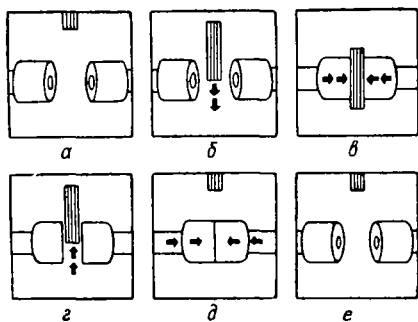


Рис. XIII-6. Схема последовательности операций при автоматической сварке нагреванием.

Сварка полиэтиленовой пленки нагретым инструментом применяется при изготовлении полиэтиленовых мешочков. Сплюснутый рукав полиэтиленовой пленки сматывается с рулона и проходит под нагретым металлическим электродом, который периодически опускается на рукав, сваривая его поперек движения. Для устранения прилипания полиэтилена к нагретому инструменту между ними помещают фторлоновую пленку. Готовые мешочки отрезаются ножом. Полиэтиленовые трубы при сваривании прикладывают к нагретой до 220—260°С плите или выдерживают от нее на расстоянии 1,58—3,17 мм, в этом случае температура плиты должна быть выше, чем при контактной сварке. Когда торцы труб оплавятся, их соединяют на деревянном стержне в течение 40—45 сек и охлаждают 2—4 мин.

Для малогабаритных деталей применяется автоматическая сварка по схеме, изображенной на рис. XIII-6. Свариваемые детали зажимают в специальных патронах (а), между ними автомати-

чески опускается нагретая пластина (б) и детали на заданное время подводятся к пластине (в). Затем нагретая пластина отводится (г), и свариваемые детали смыкаются под некоторым давлением (д), после чего патроны разводятся и сваренное изделие удаляют (е). При данном способе все операции, за исключением вставки свариваемых деталей в патроны, выполняются автоматически.

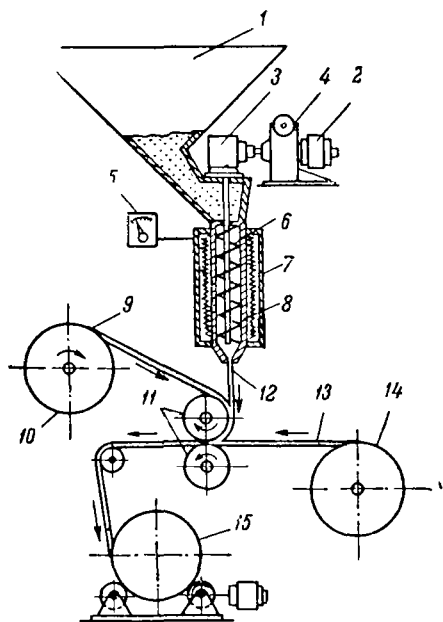


Рис. XIII-7. Схематическое изображение процесса сварки при помощи шприц-машины:

1 — бункер; 2 — электродвигатель; 3 — коробка передач; 4 — регулятор напряжения; 5 — амперметр; 6 — шнек; 7 — нагреватель; 8 — корпус; 9 и 13 — пленки; 10 и 14 — рулоны с пленкой; 11 — ролики; 12 — экструдированный пруток; 15 — намоточное приспособление.

Непрерывная сварка полиэтиленовых пленок производится с помощью шприц-машины (рис. XIII-7). Гранулированный материал из бункера 1 поступает в вертикальный шнек 6, обогреваемый снаружи нагревателем 7. Экструдированный через мундштук нагретый пруток 12 попадает между слоями свариваемых пленок 9 и 13, сматываемых с рулонов 10

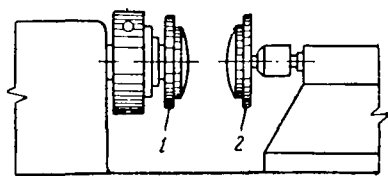


Рис. XIII-8. Схема установки для сварки трением:

1 — вращающаяся втулка; 2 — неподвижная втулка.

и 14, и расплющивается двумя роликами 11. За счет тепла, отдаваемого прутком пленкам, внутренние их поверхности оплавливаются, образуя прочный непрерывный шов. Сваренная пленка наматывается на рулон.

Сварка трением применяется для сравнительно толстостенных деталей.

На рис. XIII-8 показан типичный случай сварки трением, при котором большое число специально подготовленных выпуклых дисков сваривается в целый стержень. Один диск устанавливают во вращающемся патроне токарного станка, а второй закрепляют

неподвижно. Диски приводятся в соприкосновение, причем на неподвижный диск посредством винта оказывается давление. При этом выделяется большое количество тепла, материал плавится с поверхности и происходит быстрая сварка, не сопровождающаяся общим разогреванием пластика. Нагреваемые при трении поверхности закрыты для доступа воздуха, что особенно важно при сварке окисляющихся полимеров, например полиэтилена и полиамидов.

Основные показатели режима сварки трением: скорость вращения, удельное давление и продолжительность сварки. Скорость вращения должна обеспечить достаточно высокую температуру в месте контакта свариваемых деталей, так как при пониженных температурах происходит лишь шлифовка и скол материала. Удельное давление при сварке большинства полимеров составляет $0,7\text{—}14,06 \text{ кгс/см}^2$. Давление, создаваемое пневматически или подающим винтом, должно быть равномерным.

Время сварки невелико и обычно определяется экспериментально.

Сварка трением применяется для изготовления рукояток к инструментам, фитингов, линз, для соединения толстостенных труб и для других целей. Прочность сварного соединения достигает $80\text{—}95\%$ от прочности основного материала, однако наличие влаги в материале и ряд других факторов значительно снижают прочность сварного шва.

Термоимпульсная сварка широко применяется для соединения термопластичных пленок, особенно полиэтиленовых и полистирольных, для которых неприменим высокочастотный обогрев.

Установка для термоимпульсной сварки состоит из двух электродов, покрытых фторлоновой пленкой, между которыми зажимаются свариваемые пленки. Электроды, обладающие незначительной тепловой инерцией, под действием импульса тока нагреваются за доли секунды до температуры, обеспечивающей сварку. После этого ток автоматически выключается и происходит быстрое охлаждение электродов и сваренной пленки. Длительность импульсов нагрева и охлаждения зависит от толщины пленки и регулируется автоматически реле времени. При суммарной толщине пленок более $0,5 \text{ мм}$ сварка производится двумя электродами, из которых нижний закреплен неподвижно, а верхний периодически поднимается и опускается. При меньшей толщине пленок применяется лишь верхний электрод, а свариваемые пленки располагаются на рабочем столе.

Высокочастотная сварка применяется для полярных полимеров (полихлорвинил, полиамиды и др.). Свариваемые детали помещают в высокочастотное поле между электродами генератора с частотой $30\text{—}70 \text{ Мгц}$ или в непосредственной близости к ним. Количество тепла, выделяющегося при высокочастотной сварке Q

(в вт/см^3), определяется по формуле:

$$Q = 0,55 \cdot 10^{-12} \cdot \varepsilon \operatorname{tg} \delta f E^2$$

где ε — диэлектрическая проницаемость;

$\operatorname{tg} \delta$ — тангенс угла диэлектрических потерь;

f — частота колебаний электрического поля,

E — напряженность электрического поля.

Продолжительность нагревания при высокочастотной сварке можно определить тем же методом, что и продолжительность высокочастотного нагрева прессматериалов (см. стр. 72).

Высокочастотная сварка осуществляется либо на машинах типа прессов, либо на установках роликового типа, напоминающих швейные машины.

В первом случае свариваемый пакет размещают между плоскими электродами, поверхность контакта которых должна быть гладкой и равной площади свариваемого пакета. Сварка производится при небольшом давлении, создаваемом гидравлическим, пневматическим или механическим устройствами как на обычных прессах.

Для непрерывной сварки применяют установки роликового типа с электродами в виде роликов или узких пластин, между которыми пропускаются кромки свариваемых листов или пленок. Применяют также точечные электроды игольчатого типа (пуансоны), а ролики в этих установках служат лишь для подачи пленок. Скорость подачи пленки в машинах роликового и точечного типа составляет 0,5—3 м/мин при ширине сварного шва 1,5—6 мм, удельное давление на пленку 2—20 кгс/см².

Высокочастотное поле создается генератором мощностью 100—250 вт. Напряжение при сварке должно быть ниже пробивного напряжения свариваемых листов.

Применяются электроды с закругленными краями, так как острые кромки могут вызвать концентрацию высокочастотного поля и перегрев по краям шва («краевой эффект»).

Ультразвуковая сварка требует сложного и дорогого оборудования, поэтому ее целесообразно применять лишь в тех случаях, когда другие способы непригодны.

Схема машины для сварки пластмасс ультразвуком приведена на рис. XIII-9. Ток высокой частоты от генератора подается в обмотку вибратора 1, размеры которого при этом ритмически меняются и возникают незначительные механические колебания. Вибрация передается на волновод 2 и на свариваемые детали 3. В нижней части машины расположен отражатель 4 с рычагом, на конец которого подвешивается груз, создающий давление на свариваемые детали. Возникает акустическая цепь вибратор — волновод — термопласт — отражатель, и энергия трения и давления переходит в тепловую (рис. XIII-9).

Существует немало других способов сварки термопластов. В некоторых случаях сварка производится в результате омического или индукционного нагрева металлических спиралей, введенных в края свариваемых деталей. Металлические спирали остаются в готовом изделии.

Сварка практически неплавкого политетрафторэтилена представляет особые трудности. Для этой цели применяют флюс, состоя-

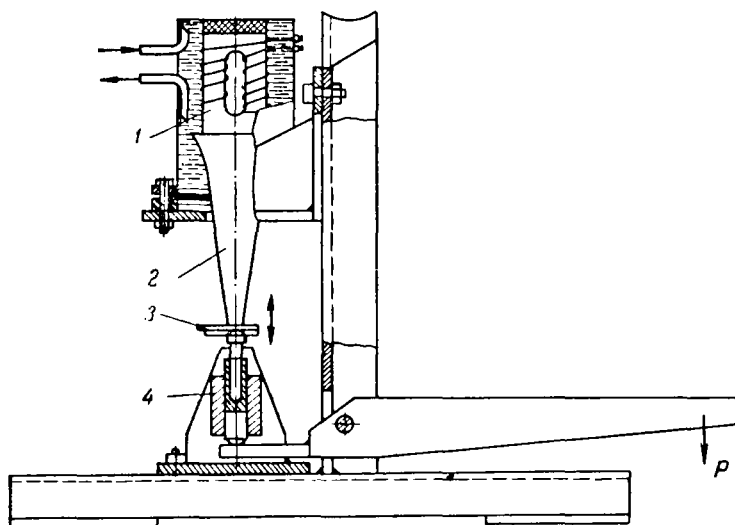


Рис. XIII-9. Схема машины для сварки пластмасс ультразвуком: 1 — вибратор; 2 — волновод; 3 — свариваемый материал; 4 — настроенный отражатель.

щий из 65 вес. ч. фторуглеродного масла и 35 вес. ч. порошкообразного политетрафторэтилена. Смешивание производят в смесителях различного типа при 65°C , так как фторуглеродное масло при комнатной температуре имеет высокую вязкость. Флюс не изменяется при длительном хранении, поэтому его готовят «запасом».

Листовой политетрафторэтилен для снятия напряжений подвергают перед сваркой двухчасовой термообработке при температуре на $32,2^{\circ}\text{град}$ превышающей максимальную температуру эксплуатации изделий. Свариваемые поверхности покрывают флюсом, плотно смыкают под давлением $2,46\text{—}3,51\text{ кгс/см}^2$, нагревают до 371°C и выдерживают при этой температуре $5\text{—}10\text{ мин}$ до испарения фторуглеродного масла. Затем нагрев прекращают, но давление сохраняют до тех пор, пока температура не снизится до 93°C .

Сварка политетрафторэтиленовых листов производится внахлестку со срезом кромки. Для увеличения поверхности контакта

применяют волнистый срез, избегая однако значительного утолщения в месте сварки.

Фторополимеры типа американского тефлона 100-Х свариваются довольно легко, причем продолжительность сварки последнего зависит от толщины пленки.

При сварке фторолонов возможно небольшое выделение токсичных газов (при температуре 204°С), поэтому помещения для слесарных работ следует снабдить достаточной вентиляцией.

СКЛЕИВАНИЕ ПЛАСТМАСС

Соединение пластмассовых деталей между собой и с другими материалами методом склеивания находит все более широкое применение. Клеевые соединения пластмасс наряду с простотой и дешевизной обладают рядом технических достоинств:

- 1) склеивание позволяет получить прочное соединение тонкослойных и толстослойных однородных и разнородных деталей;

- 2) напряжения в клеевых соединениях распределяются равномерно, что повышает вибростойкость изделия;

- 3) поверхность склеенных изделий получается гладкой.

Однако необходимо учитывать и специфические недостатки клеевых соединений:

- 1) значительно снижается прочность склеивания при неравномерном отрыве;

- 2) многие полимерные клеи отверждаются только при нагревании;

- 3) полимерные клеи нередко содержат токсичные вещества, что осложняет применение этих клеев.

Для получения клеевых соединений повышенной прочности склеивание комбинируют с механическим скреплением болтами, винтами и точечной сваркой.

Физико-химические основы склеивания

Природа сил склеивания изучается давно, однако до сих пор нет единой общепринятой теории склеивания. Процесс склеивания, несмотря на внешнюю простоту, протекает по сложному механизму.

Прочность клеевого соединения определяется силами адгезии и когезии. Адгезия представляет собой сцепление между частями клея и склеиваемой поверхности (подложки), а когезия — сцепление между частями самого клея. В зависимости от соотношения сил когезии и адгезии разрыв клеевого соединения может происходить по массе клеящего вещества или по поверхности раздела клей — подложка (рис. XIII-10). Разрыв по поверхности раздела указывает на неудачный выбор клея для данной подложки или же на плохую подготовку ее поверхности, а разрыв по массе клеящего вещества определяется значительной толщиной клеевого

слоя и недостаточной механической прочностью его после отверждения.

Когезионные силы определяются межмолекулярным взаимодействием и для полимерных клеев рассматриваются в литературе по физико-химии полимеров.

Адгезия полимерных клеев имеет очень сложный характер и изучена недостаточно. Для склеивания пористых материалов, например пенопластов, большое значение имеет «механическая» адгезия, т. е. затекание жидкого клея в поры и его затвердевание. При склеивании материалов с незначительной пористостью, например металлов и стекла, преобладает действие межмолекулярных сил на поверхности раздела клеевой пленки и подложки. Эти силы обуславливаются, по-видимому, адсорбционными, диффузионными, а также электрическими явлениями.

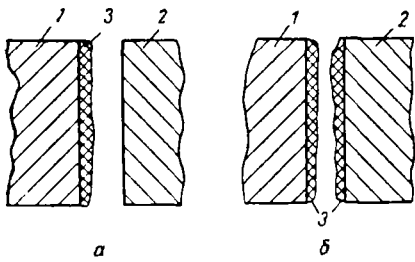


Рис. XIII-10. Разрыв клеевого соединения:

а — разрыв по поверхности раздела клей — подложка; б — разрыв по массе клеевой пленки; 1 и 2 — подложки; 3 — клеевая пленка.

Адгезию чаще всего определяют эмпирически величиной работы, затрачиваемой для разъединения склеенных поверхностей. Однако экспериментальное определение величины адгезии показало: 1) что для отрыва пленки от подложки требуется затрата большей работы, чем для преодоления межмолекулярных сил, и 2) что величина этой работы зависит от скорости отрыва пленки, в то время как величина межмолекулярных сил не зависит от скорости их преодоления.

Эти явления можно объяснить появлением двойного электрического слоя на поверхности раздела пленка — подложка в период пленкообразования, например при покрытии полимерными пленками металла поверхность последнего заряжается положительно, а пленка — отрицательно, так как металл легко передает электроны полимеру. Образовавшийся двойной электрический слой работает подобно конденсатору, поэтому для отрыва пленки полимера от подложки нужно преодолеть действие электростатических сил притяжения, как при разведении обкладок конденсатора. При медленном отрыве пленки заряды успевают стекать по электропроводному поверхностному слою и работа затрачивается в основном на преодоление сил молекулярного взаимодействия, поэтому величина ее меньше, чем при быстром отрыве. Этим же объясняется пониженная величина прочности клеевого соединения, определяемая при неравномерном отрыве клеевой пленки. Работу против сил адгезии при максимальном разведении обкладок двойного слоя

можно определить по формуле:

$$A = \frac{\sigma V}{2}$$

где

A — работа;

σ — поверхностная плотность электризации;

V — разность потенциалов между обкладками конденсатора.

Процесс образования межмолекулярных сил при склеивании можно представить следующим образом. При нанесении клеящей полимерной пленки силовое поле поверхности подложки ориентирует определенным образом диполи полимера, в результате чего возникает двойной электрический слой. В неполярной полимерной пленке наблюдается появление индуцированных диполей за счет уменьшения степени симметрии молекулы.

Адгезионные свойства полимера зависят от наличия полярных групп. Чем больше этих групп содержит полимер и чем больше их дипольные моменты, тем обычно выше клеящая способность полимера. Например, поливиниловый спирт и эпоксидные смолы, содержащие значительное количество полярных групп, являются хорошими клеями для многих материалов.

При склеивании термопластов между собой большое значение имеют диффузионные процессы, при которых происходит взаимное проникновение концов или срединных участков молекулярных цепей в поверхностные слои склеиваемых материалов. Цепи переплетаются, что приводит к размыванию или уничтожению границы раздела и к образованию прочной связи в местах контакта. Такое соединение поверхностей одного и того же полимера называется самослипанием (аутогезией). Аутогезия особенно характерна для неполярных и слабополярных полимеров, так как наличие полярных групп повышает межмолекулярное взаимодействие и затрудняет диффузионное перемещение частей цепных молекул. Большая подвижность цепочек молекул с меньшей степенью полимеризации также повышает скорость диффузии и способствует аутогезии.

Помимо наличия функциональных групп, на клеящие свойства полимера значительное влияние оказывают величина молекулярного веса и структура молекулы. Степень зависимости адгезионных свойств полимера от его молекулярного веса имеет очень сложный характер. При увеличении молекулярного веса полимера повышается когезия, и обычно снижается адгезия, оптимальное сочетание величин адгезии и когезии находят экспериментальным путем. На клеящие свойства полимера значительное влияние оказывает молекулярная и надмолекулярная структура полимера, т. е. наличие разветвлений, плотность упаковки и другие факторы, поскольку они определяют физико-химические свойства полимера.

Прочность клеевого соединения, помимо правильного выбора типа клея, зависит от следующих факторов: соответствующей

подготовки поверхности подложки, толщины клеевого слоя, давления склеивания, длительности и температуры выдержки после склеивания.

Поверхность склеиваемых деталей должна быть чистой и шероховатой.

Толщину клеевой пленки принимают минимальной, она практически не должна превышать 0,1 мм. О влиянии толщины пленки на прочность клеевого соединения были высказаны различные предположения, наиболее вероятные из которых следующие:

1) увеличение толщины клеевой пленки приводит к снижению степени ориентации молекулярных цепей за счет уменьшения межмолекулярного взаимодействия пленки с поверхностью подложки и тем самым к снижению прочности клеевого соединения;

2) чем толще пленка, тем большие напряжения создаются в ней при термическом отверждении и остывании клеевого соединения;

3) в центральной части толстой пленки легче возникает разрушающее пленку пластическое течение, в то время как в тонкой пленке, зажатой между жесткими стенками, возможность такого течения весьма ограничена.

Основные виды промышленных полимерных клеев

Полимерные клеи подразделяются в основном на две группы: клеи, изготовленные из термопластичных и термореактивных полимеров. В настоящее время выпускается большое число марок полимерных клеев, краткая характеристика которых приведена в приложении.

Технология изготовления клеев несложна и состоит чаще всего в приготовлении раствора или эмульсии полимера с добавкой пластификатора. В клеи на основе термореактивных полимеров при изготовлении или перед употреблением вводят отвердитель. Смешение компонентов клеев производят обычно в двухлопастных смесителях, снабженных обратными холодильниками.

Технология склеивания

Технологический процесс склеивания включает следующие основные операции:

1) подготовку склеиваемых поверхностей;

2) смешение отдельных компонентов клея в тех случаях, когда готовый клей быстро переходит в необратимое состояние и его нельзя долго хранить;

3) нанесение клея на поверхность склеиваемых материалов и соединение последних;

4) выдержку и соединение склеиваемых поверхностей;

5) испытание клеевого соединения.

Подготовка поверхности склеиваемых материалов заключается в очистке ее от загрязнений и создании шероховатости. Очищают поверхность тканью или ватным тампоном, смоченным раствори-

телями (ацетоном, спиртом, трихлорэтиленом и др.). Наличие даже следов масел и жиров на склеиваемых поверхностях приводит к снижению прочности клеевого соединения. Для придания шероховатости поверхность обрабатывают наждачными шкурками и кру-гами, напильниками, пескоструйным методом и т. п.

Неполярные пластики (полиэтилен, полипропилен и др.) перед склеиванием подвергают специальной обработке для получения полярных групп на их поверхности (например, полиэтилен подвергают воздействию сильных окислителей или проглаживают пламенем горелки).

Смешение потребителем отдельных компонентов клея производится в мешалках различного типа. Клеи с низкой жизнеспособностью следует готовить непосредственно перед употреблением.

Нанесение жидкого клея производят различными способами в зависимости от консистенции клея и размеров изделий: кистью, шпателем, роликом, пульверизатором. При использовании последнего требуется низкая вязкость клея, поэтому клеи нередко разбавляют растворителями. Пульверизаторы обычно работают под давлением $0,7\text{—}3,5 \text{ кгс/см}^2$ и устанавливаются на расстоянии около 25 см от покрываемой поверхности.

Помимо жидких клеев применяют пленочные, представляющие собою клейкие полимерные материалы, иногда нанесенные на хлопчатобумажную, стеклянную или полимерную подложку. Пленочные клеи часто используют в комбинации с жидкими и наносят после некоторого подсыхания пленки жидкого клея. Для нанесения порошкообразных клеев применяют метод опудривания.

Клеи наносят в количестве, необходимом для получения оптимальной толщины пленки $0,05\text{—}0,25 \text{ мм}$, чаще всего $\sim 0,1 \text{ мм}$.

Чтобы получить беспористый шов, после нанесения жидкого клея проводят «открытую выдержку» его при обычной температуре или при нагревании.

Соединение склеиваемых деталей производят посредством винтовых прессов, струбцин, гидропрессов, вакуумным методом и т. д. При вакуумном методе склеенные детали помещают в резиновый мешок, из которого затем выкачивают воздух. Нередко этот мешок помещают в автоклав.

В зависимости от состава клеи отверждаются при нормальной или повышенной температуре. Часто для этой цели используются камеры или автоклавы с электрическим, газовым или инфракрасным обогревом.

Испытание клеевых соединений производят на образцах или в готовом изделии. В первом случае применяют разрушающий контроль, т. е. испытывают прочность клеевых соединений на сдвиг при растяжении, сжатии и изгибе, на равномерный и неравномерный

отрыв и на отслаивание. Во втором случае используют методы неразрушающего контроля. Самым простым из таких испытаний является простукивание клеевых швов, при котором о качестве склеивания судят по характеру звука. Основным недостатком этого способа является его субъективность и необходимость достаточно натренированного слуха. Гораздо точнее и объективнее ультразвуковые методы контроля, однако они требуют применения сложного и дорогого оборудования.

Примеры склеивания пластмасс

Склеивание полиметилметакрилата (органического стекла). Склеиваемые детали предварительно отжигают при $60\text{--}80^\circ\text{C}$, затем обезжиривают и хорошо подгоняют их поверхности. Поверхность одной из деталей смазывают растворителем (ацетоном, дихлорэтаном или метиленхлоридом) и выдерживают 1—2 мин для набухания поверхностного слоя. После этого детали соединяют под давлением $\sim 3\text{ кгс/см}^2$ и выдерживают в таком виде 6—8 ч. При толщине склеиваемых листов менее 3 мм применяют давление $0,5\text{--}1,4\text{ кгс/см}^2$.

Нередко детали из органического стекла склеивают 2—5% раствором полиметилметакрилата в указанных растворителях, смазывая поверхности обеих склеиваемых деталей. Однако этот метод иногда приводит к образованию микротрещин («серебрение»).

Склеивание полистирола производят так же, как полиметилметакрилата, но в качестве клея применяют раствор полистирола в бензоле или ксилоле. Давление склеивания $3,5\text{--}7\text{ кгс/см}^2$, выдержка 24—48 ч.

Склеивание винипласта осуществляется 10 или 20% раствором перхлорвинила в метиленхлориде или 13 % раствором перхлорвинила в дихлорэтане. Наносят 1—3 слоя клея с промежуточной подсушкой. Детали соединяют при давлении $\sim 1\text{ кгс/см}^2$ и выдержке 24 ч.

Если склеивание практически растворимых термопластов производят, в основном, посредством их поверхностного растворения, то склеивание отвержденных термореактивных пластиков, например фенопластов, напоминает по характеру и оформлению процесса склеивание металлов или дерева. При этом применяют эпоксидные клеи и клеи типа БФ.

Склеивание жидкими эпоксидными клеями производят следующим образом. На подготовленные поверхности наносят клей и подсушивают до отлипа. Затем плотно прижимают соединяемые детали под давлением $0,5\text{--}5\text{ кгс/см}^2$. При использовании клеев холодного отверждения (например, с отвердителем полиэтиленполиаминном) изделие выдерживают около 24 ч при комнатной температуре, а затем для повышения прочности склеивания подвергают дополнительной термообработке при $100\text{--}130^\circ\text{C}$ в течение 4—6 ч.

Если применяют эпоксидные клеи горячего отверждения, то склеиваемые детали выдерживают в термостате 6—8 ч при 120° С или 4—6 ч при 150° С.

Склеивание клеями БФ-2 и БФ-4 производят следующим образом: на подготовленные поверхности наносят первый слой клея и выдерживают на воздухе не менее 1 ч, затем наносят второй слой и снова выдерживают 1 ч при нормальной температуре и 1 ч при 60—90° С. Далее детали соединяют и выдерживают при 140—160° С в течение 25—30 мин.

Склеивание полиолефинов представляет значительные трудности. Полиэтилен можно склеивать обычными клеями на основе полиуретанов, резорциновых смол и других полимеров, отверждающихся при температуре, не вызывающей размягчения полиэтилена, после предварительной поверхностной обработки его окислителями (азотная, хромовая кислоты, хромовая смесь и др.) или проглаживания пламенем. Гораздо реже полиэтилен склеивают без предварительной поверхностной обработки специальными клеями сложного состава.

Поверхность политетрафторэтилена перед склеиванием обрабатывают раствором металлического натрия в жидком аммиаке. Однако этот способ связан с возможностью получения тяжелых ожогов и может выполняться лишь специально подготовленными работниками при соблюдении тщательных и сложных мер предосторожности. Временное склеивание политетрафторэтилена, дающее прочность около 0,4 кгс/см², можно производить раствором полиизобутилена в бензине.

В приложении 10 приведены основные марки клеев.

Техника безопасности при склеивании Синтетические клеи обычно содержат токсичные вещества и поэтому оказывают вредное действие при попадании на кожу и вдыхании. Поэтому на участках склеивания предусматриваются различные санитарно-гигиенические мероприятия:

1. Местная приточно-вытяжная вентиляция в помещениях нанесения клея, сборки, запрессовки изделий и нагревания. Отвешивание компонентов клеев и смешивание их производятся в вытяжных шкафах, а для больших количеств клея в смесителях, снабженных местной вентиляцией.

2. Работающий должен иметь спецодежду в виде комбинезона из плотной ткани, фартука из прорезиненной ткани или полимерных пленок, головной убор и очки для предохранения глаз от брызг.

3. Закончив работу, работающий должен смыть клей с рук и перчаток растворителями и теплой водой с мылом, после чего принять горячий душ.

4. Работающие с клеями подвергаются ежемесячному медицинскому освидетельствованию и при обнаружении кожных заболеваний

ний временно или постоянно (по заключению врача) переводятся на другой участок работы, не связанный с синтетическими клеями.

Ниже приведены предельно допустимые концентрации некоторых токсичных газов и паров (в $мг/м^3$) в рабочих помещениях:

Аммиак	20	Ксилол	50
Ацетон	200	Спирт этиловый	1000
Бензин	300	Толуол	50
Бензол	20	Фенол	5
Гексаметилендиамин	1	Формальдегид	1
Гексаметиленди- изоцианат	0,05	Фурфурол	10
Дихлорэтан	10		

Глава

XIV

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

При организации производства изделий из пластмасс должны быть учтены следующие основные принципы: 1) непрерывность процессов; 2) автоматизация; 3) механизация всех вспомогательных операций: загрузки, разгрузки, транспортирования сырья, полуфабрикатов и готовых изделий. В соответствии с этим необходимо располагать оборудование. Примером такого расположения оборудования может служить производство изделий методом пневматического формования, при котором агрегаты для производства листов и агрегат для пневмоформования должны быть установлены на одной линии, что позволяет организовать непрерывный процесс и исключает необходимость транспортирования листов к пневмоформовочным агрегатам.

Нормальная деятельность основных производств должна быть обеспечена работой ряда вспомогательных цехов и участков. Поэтому в состав завода по производству изделий из пластмасс должны входить: 1) конструкторско-технологическое бюро; 2) центральная заводская лаборатория и экспериментальный цех; 3) отдел технического контроля; 4) инструментальный цех для ремонта форм и изготовления новых форм, используемых при проведении опытных работ; 5) ремонтно-механический цех; 6) ремонтно-строительный цех с участком изготовления тары; 7) парк прессформ; 8) склады сырья и готовой продукции.

СКЛАД СЫРЬЯ

Основную массу сырья для переработки в изделия поставляют в порошкообразном и гранулированном виде. Значительно меньшее количество сырья имеет форму листов, которые перерабатывают преимущественно пневмоформованием.

Порошки и гранулы транспортируют и хранят в мягких контейнерах, в которые вмещается ~3000 кг сырья, или в водонепроницаемых мешках. Для упаковки пластмасс используют мешки из крафтцеллюлозной бумаги. Защита от действия влаги может быть достигнута несколькими путями: покрытием бумаги полиэтиленовой пленкой; внутренним вкладышем — мешком из полиэтиленовой

или поливинилхлоридной пленки и наружным водонепроницаемым мешком.

Мешки с сырьем выгружают из вагонов на деревянные поддоны и при помощи автопогрузчиков транспортируют на склад. Хранение должно быть организовано строго по партиям.

Растаривание контейнеров и мешков с сыпучими материалами осуществляют на складе во внутризаводскую оборотную тару с помощью специальных установок, оборудованных вентиляционной системой.

С заводского склада сырье транспортируют в цех электрокарами и другими видами внутризаводского транспорта.

При хранении сырья на складе может происходить поглощение влаги, содержащейся в воздухе, а в зимнее время на поверхности холодного материала — конденсация влаги. Повышение влажности сырья ухудшает его свойства, поэтому в складских помещениях температура и содержание влаги в воздухе должны поддерживаться постоянными (в установленных пределах). Для осуществления указанных требований склады нужно отапливать.

ПРЕССОВОЕ ПРОИЗВОДСТВО

В состав цеха прессованных изделий должны входить следующие участки и отделения: 1) склад сырья для хранения суточного запаса; 2) отделение таблеточных машин; 3) прессовое отделение; 4) насосно-аккумуляторная станция; 5) отделение механической обработки изделий; 6) отделение переработки отходов; 7) отделение контроля и упаковки готовой продукции.

Для того чтобы обеспечить производство изделий широкого ассортимента, отличающихся не только по конструкции, но и по весу, в цехе должны быть установлены прессы разной мощности. Например, для цеха, перерабатывающего 6000 т сырья в год, рекомендуются следующие соотношения:

Мощность прессы, <i>тс</i>	25	40	63	100	160	250	400	630
Количество прессов, шт.	16	18	27	80	21	11	8	8

Прессовочный материал из цехового склада сырья подают транспортирующим устройством в отделение таблеточных машин. Контейнеры с таблетками при помощи электрокар или аналогичных механизмов подают к рабочим местам. Из контейнеров таблетки загружают вручную в дозирующее устройство прессов-автоматов или непосредственно в прессформы при полуавтоматическом или ручном управлении работой прессы.

Отпрессованные изделия укладывают в тару, которую помещают на конвейер, подающий эти изделия в отделение обработки. Массовые изделия должны обрабатываться на автоматических или полуавтоматических станках.

Готовые изделия транспортируют в отделение контроля и упаковки.

Бракованные изделия, а также заусенцы, стружки и опилки из отделения обработки изделий поступают в отделение переработки отходов (см. гл. III).

В цехах с большим количеством прессов обычно используют групповой привод, поэтому имеется насосная станция, состоящая из гидронасосов и аккумуляторов.

ПРОИЗВОДСТВО ИЗДЕЛИЙ ЛИТЬЕМ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Цех литьевых изделий состоит из склада сырья для хранения суточного запаса и отделений: литьевых машин, механической обработки изделий, а также контроля и упаковки готовой продукции.

Потребность в широком ассортименте изделий, отличающихся не только по конструкции, но и по весу, требует укомплектования цеха литьевыми машинами разной мощности. Например, для цеха, перерабатывающего 8000 т сырья в год, может быть рекомендован следующий состав парка литьевых машин:

Мощность впрыска, см ³	32	63	125	250	500	1000	3000
Количество машин, шт.	49	180	50	46	2	1	1

На литьевых машинах можно перерабатывать разные термопласты, но смена материала требует довольно значительных затрат времени на чистку, поэтому целесообразно закреплять машины за отдельными видами сырья. Загрузку сырья в бункеры машин большой мощности производят при помощи пневмотранспортных устройств.

Литники подавляющего большинства изделий, особенно точечные, легко обламываются. Обычно машинист литьевой машины успевает обломать литники в течение одного производственного цикла работы машины. Обломанные литники дробят на специальных ножевых дробилках, устанавливаемых вблизи литьевых машин. Дробленые литники вручную перемешивают с основным сырьем, и смесь загружают в бункер литьевой машины для переработки ее в изделия.

Подавляющее большинство изделий после удаления литников не нуждается в дополнительной обработке, поэтому изделия направляют в отделение контроля и упаковки.

Для некоторых видов изделий, нуждающихся в дополнительной шлифовке и полировке, устанавливают соответствующие станки.

Транспортирование готовых изделий по производственному потоку осуществляют конвейерами или электрокарами.

ПРОИЗВОДСТВО ИЗДЕЛИЙ МЕТОДОМ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ФОРМОВАНИЯ

Цех производства изделий методом пневматического формования состоит из следующих отделений: 1) выдавливания листов на червячных прессах со щелевыми головками; 2) формования изделий из листов на специальных агрегатах; 3) переработки отходов; 4) контроля и упаковки готовой продукции.

С целью сокращения транспортных операций агрегаты для выдавливания листов и формования устанавливают на близком расстоянии один от другого, а в производстве изделий больших размеров — в одну линию, что позволяет организовать непрерывный процесс с полуавтоматическим или автоматическим управлением.

После формования изделий избыток материала удаляют вырубкой. В агрегатах многих конструкций предусмотрено устройство для вырубки изделий.

Бракованные изделия и отходы могут быть переработаны вторично в смеси с основным сырьем после их измельчения, которое должно быть выполнено без теплового воздействия, так как оно ухудшает свойства материала.

В отделении переработки отходов устанавливают ножевые дробилки разной мощности, измельчающие загружаемые отходы в крошку, которую повторно перерабатывают на червячных прессах. Во избежание загрязнения отходов они не должны накапливаться в количествах, превышающих суточную выработку. За материалом каждого цвета и рода должны быть закреплены отдельные дробилки, установленные в изолированных помещениях.

ПРОИЗВОДСТВО ПОЛЫХ ИЗДЕЛИЙ

Цех полых изделий состоит из склада сырья для хранения суточного запаса сырья и отделений: выдувных агрегатов, механической обработки, переработки отходов, а также контроля и упаковки готовой продукции.

Для выпуска полых изделий разной емкости в цехе должны быть установлены агрегаты соответствующей мощности. Например, для цеха, перерабатывающего 3000 т сырья в год, может быть рекомендован следующий комплект агрегатов:

Максимальная емкость изделия, дм ³	1	10	60	200
Количество агрегатов, шт.	28	5	1	1

Загрузка сырья в бункеры машин должна быть механизирована.

Избыток материала на изделиях удаляют обрезкой или вырубкой. Отходы материала, количество которых достигает на некоторых изделиях примерно 30% от массы исходного материала, а также бракованные изделия после измельчения на ножевых дро-

билках (для чего их направляют в отделение переработки отходов) могут быть переработаны повторно. Все транспортные операции осуществляют при помощи конвейеров или электрокаров.

ПРОИЗВОДСТВО ПРОФИЛЬНО-ПОГОНАЖНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Цех состоит из склада сырья для хранения суточного запаса и отделений: подготовки сырья, червячных прессов, а также упаковки готовой продукции.

В цехе профильно-погонажных изделий может быть организовано также производство гибких труб, а при наличии режущего устройства — жестких труб диаметром ≤ 100 мм.

В составе цеха, перерабатывающего 4000 т сырья в год, должны быть следующие агрегаты:

Диаметр червяка, мм	63	90
Количество машин, шт.	7	3

Контроль изделий осуществляют непрерывно в процессе производства.

Для переработки отходов жестких материалов они должны быть измельчены на дробилках ножевого типа.

Отходы мягкого поливинилхлорида и аналогичных материалов разрезают, а затем развальцовывают в полотно, которое гранулируют на ножевых грануляторах либо выдавливают червячным прессом в виде прутков, разрезаемых на гранулы.

Нужды народного хозяйства в трубах, пленках и стеклопластиках целесообразно удовлетворять специализированными предприятиями по производству: 1) труб (мощностью $\sim 20\,000$ т/год); 2) пленок методом выдавливания (мощностью 20 000—30 000 т/год). 3) стеклопластиков (мощностью $\sim 20\,000$ т/год).

ЛИТЕРАТУРА

Общая

Бернхардт Э., Переработка термопластичных материалов, Госхимиздат, 1965.

Гурвич С. Г., Ильяшенко Г. А., Свириденко С. Х., Машины для переработки термопластических материалов, Изд. «Машиностроение», 1965.

Завгородний В. К., Механизация и автоматизация переработки пластических масс, Машгиз, 1964.

Завгородний В. К., Модернизация оборудования для изготовления изделий из пластмасс, Машгиз, 1960.

Пик И. Ш., Производство изделий из пластических масс, Госхимиздат, 1954.

Пик И. Ш., Левин А. Н., Основы производства изделий из пластмасс, КОИЗ, 1954.

Козулин Н. А., Шапиро А. Я., Гавурина Р. К., Оборудование для производства и переработки пластических масс, Госхимиздат, 1963.

Левин А. Н., Бесходарный Н. Ф., Оборудование заводов пластических масс, Госхимиздат, 1950.

Мак-Келви Д. М., Переработка полимеров, Изд. «Химия», 1965.

Соловьев Н. В., Стрельчук Н. А., Ермилов П. И., Каннер Б. Л., Основы техники безопасности и противопожарной техники в химической промышленности, Изд. «Химия», 1966.

Техника безопасности и производственная санитария в химической промышленности, Сборник постановлений, правил, норм и инструкций, Изд. «Химия», 1965.

К главе I

Каргин В. А., Слонимский Г. А., Краткие очерки по физико-химии полимеров, Изд. МГУ, 1960.

Рейнер М., Реология, Изд. «Наука», 1965.

Северс Э. Т., Реология полимеров, Изд. «Химия», 1966.

Тагер А. А., Физико-химия полимеров, Госхимиздат, 1963.

Уилкинсон У. Л., Неньютоновские жидкости, Изд. «Мир», 1964.

Ферри, Вязко-упругие свойства полимеров, ИЛ, 1963.

К главе II

Архангельский Б. А., Пластические массы, Судпромгиз, 1961.

Брацыхин Е. А., Технология пластических масс, Госхимиздат, 1963.

К главе III

Веселов В. А., Оборудование для переработки пластмасс в изделия, Машгиз, 1961.

Демин Е. Н., Механизация и автоматизация прессования изделий из пластмасс, Лениздат, 1962.

Татевосьян Г. О., Прессовщик пластмасс, Профтехиздат, 1961.

К главе IV

Зарубежное оборудование для переработки пластмасс. Химическое и нефтяное машиностроение, под ред. В. К. Завгороднего, Сборник ЦИНТИАМ, 1964.

Каменецкий В. Я., Изготовление деталей машин и приборов из капрона, Машгиз, 1961.

Наумов В. Ф., Наумова Т. З., Литье под давлением, Госхимиздат, 1958.

Переработка полимеров. Сборник статей под ред. Р. В. Торнера, Изд. «Химия», 1964.

К главе V

Басов и др., Современное состояние переработки пластмасс, ЦИТЭИН, 1961.

Выдавливание пластических масс на червячных прессах. Сборник переводов, Машгиз, 1960.

Грифф А., Технология экструзии пластмасс, Изд. «Мир», 1965.

Миндлин С. С., Самосатский Н. Н., Производство изделий из полиэтилена методом экструзии, Госхимиздат, 1959.

Рябинин Д. Д., Лукач Ю. Е., Червячные машины для переработки пластических масс и резиновых смесей, Изд. «Машиностроение», 1965.

Шенкель Г., Шнековые прессы для пластмасс, Госхимиздат, 1962.

Шифрина В. С., Самосатский Н. Н., Полиэтилен. Переработка и применение, Госхимиздат, 1961.

К главе VI

Архангельский Б. А., Пластические массы, Судпромгиз, 1961.

Волков А. Н., Производство целлофана, Гизлегпром, 1950.

Подгородецкий Ч. К., Технология производства пленок из высокомолекулярных соединений, Изд. «Искусство», 1953.

К главе VII

Бобрынин Б. Н., Технология штамповки неметаллических материалов, Машгиз, 1962.

Бобрынин Б. Н., Стрельцов К. Н., Штамповка листовых пластмасс, Машгиз, 1962.

Каган Д. Ф., Трубопроводы из твердого поливинилхлорида, Изд. «Химия», 1964.

Некрашевич П. В., Селиверстов В. П., Обработка органического стекла, Куйбышев, 1959.

Оникул Д. Е., Страшун К. З., Штамповка неметаллических материалов, Машгиз, 1955.

Стрельцов К. Н., Пневматическая переработка термопластов, Госхимиздат, 1963.

Штрадер, Вернер, Обработка и сварка пластмасс, Профиздат, 1960.

К главе VIII

Горянкова А. В., Стеклопластики в машиностроении, Машгиз, 1961.

Киселев Б. А., Стеклопластики, Госхимиздат, 1961.

К главе IX

Склярский А. М., Получение крупногабаритных изделий из термопластов методом спекания, ЛДНТП, 1963.

Чегодаев Д. Д., Фторопласты, Госхимиздат, 1960.

К главе X

Алексеев М. В., Беспрессовый способ изготовления пенопластов ПС-Б, их свойства и применение, ЛДНТП, 1963.

Берлин А. А., Основы производства газонаполненных пластмасс и эластомеров, Госхимиздат, 1954.

Пенопластмассы. Сборник статей, Оборонгиз, 1960.

Покровский Л. И., Новые газонаполненные пластмассы, их свойства и применение, ЛДНТП, вып. 7, 1962.

К главе XI

Кошевой О. К., Чегодаев Д. Д., Литье и формование изделий из полимер-мономерных композиций, ЛДНТП, 1963.

К главе XII

Бобрынин Б. Н., Технология штамповки неметаллических материалов, Машгиз, 1962.

Лосев Б. И., Стрельцов К. Н., Обработка и сборка деталей из пластических масс, ЛДНТП, 1960.

Некрашевич П. В., Сильверстов В. П., Обработка органического стекла, Куйбышев, 1959.

Петрова Н. А., Механическая обработка стеклопластиков, ЛДНТП, 1965.

Терентьев И. С., Обработка пластмасс, применяемых в машиностроении, Изд. «Машиностроение», 1965.

К главе XIII

Кардашев Д. А., Синтетические клеи, Изд. «Химия», 1964.

Нейман Дж. А., Бокхов Ф. Дж. Сварка пластмасс, Машгиз, 1961.

К главе XIV

Калмыков Н. Н., Вайсбейн С. А., Экономика социалистической химической промышленности, Изд. «Химия», 1966.

Организация и планирование химического предприятия, под ред. Н. П. Федоренко, Изд. «Высшая школа», 1966.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

НОМОГРАММЫ

Изменения эффективной вязкости в зависимости от эффективного градиента скорости при различных температурах

Пользование номограммами поясняется следующим примером. Требуется определить эффективную вязкость полиэтилена низкой плотности при 168°C , если аналитически рассчитанный градиент скорости равен 80 сек^{-1} . На рис. 1 проводят вертикаль с абсциссой, равной 80 сек^{-1} , до пересечения с кривой, соответствующей 168°C . Из точки пересечения проводят горизонталь до оси ординат и находят эффективную вязкость, равную $0,02 \text{ кгс} \cdot \text{сек}/\text{см}^2$.

Индексы расплавов термопластов определены по ASTM-1238-52 Т, средневесовой молекулярный вес методом светорассеяния, а среднечисловой — по характеристической вязкости или методом концевых групп.

Полиэтилен

Плотность при 23°C равна $0,92 \text{ г}/\text{см}^3$
Среднечисловой молекулярный вес 30 000
Индекс расплава $1,7 \text{ г}/10 \text{ мин}$

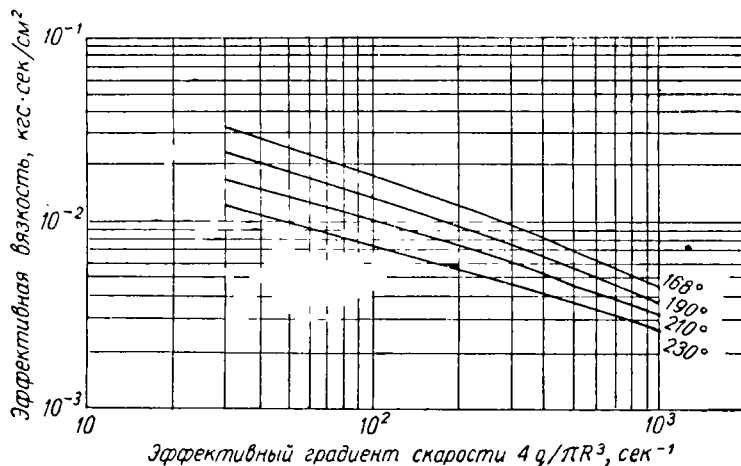


Рис. 1

Плотность при 23°C равна 0,945 г/см³
 Средневесовой молекулярный вес 160 000
 Индекс расплава 0,8 г/10 мин
 Материал с добавкой 0,15% солей жирных кислот щелочноземельных металлов

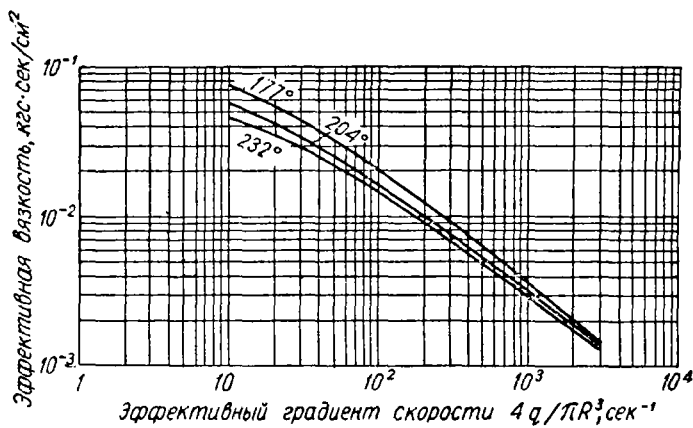


Рис. 2

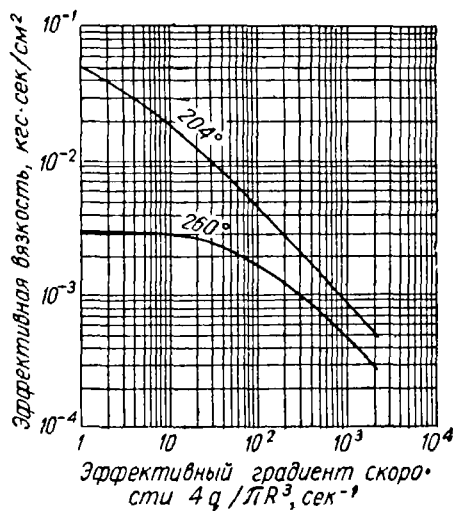


Рис. 3

Полистирол
 Плотность при 23°C. равна
 1,05 г/см³
 Индекс расплава 1,87 г/10 мин

Сополимер 30% акрилонитрила и 70% стирола

Плотность при 23°C равна 1,055 г/см³
Средневесовой молекулярный вес 177 000

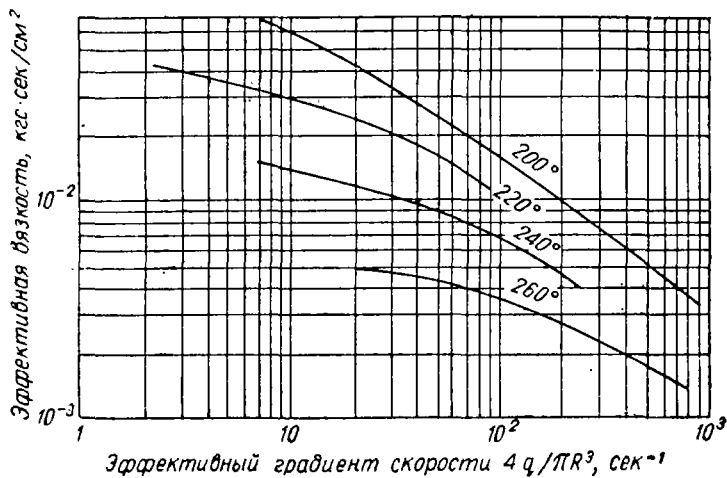


Рис. 4

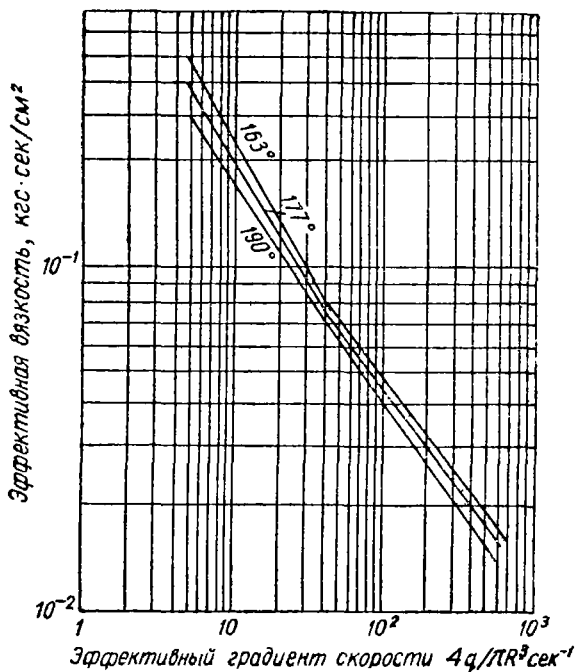


Рис. 5
Жесткий
поливинилхлорид

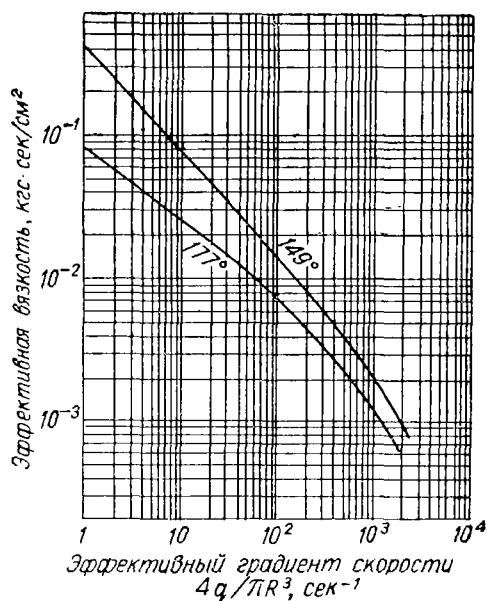


Рис. 6

Пластифицированный
поливинилхлорид

Плотность при 23°С равна
1,37 г/см³
Индекс расплава 4,59 г/10 мин

Поликапролактан (найлон 6)

Плотность при 23°С равна 1,13 г/см³
Средневесовой молекулярный вес 31 000—40 000
Среднечисловой молекулярный вес 18 000—22 000

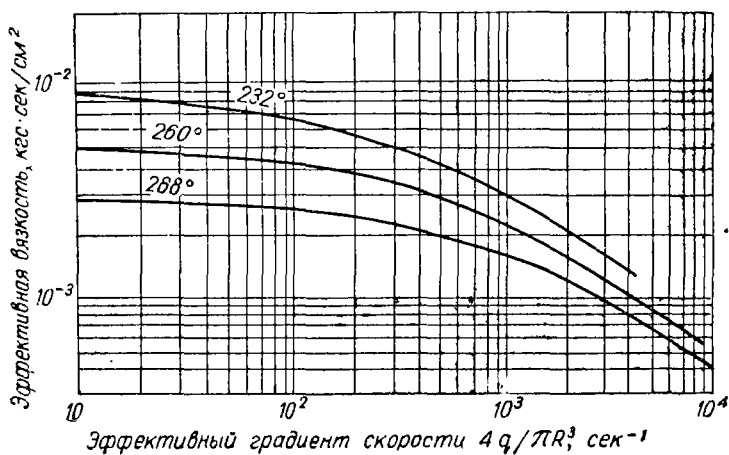


Рис. 7

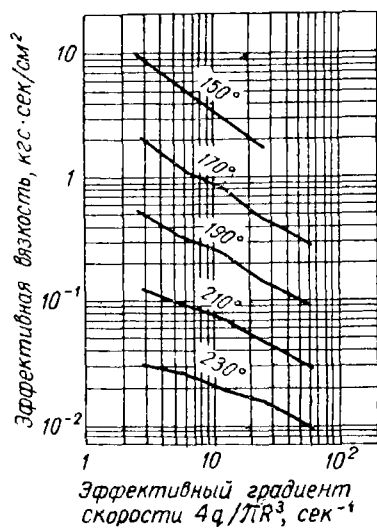


Рис. 8

Полиметилметакрилат

Плотность при 23° С равна 1,18 г/см³

Полигексаметиленадипамид

Плотность при 23° С равна 1,14 г/см³

Среднечисловой молекулярный вес, определенный методом концевых групп, 33 000—35 000

Индекс расплава 2 г/10 мин

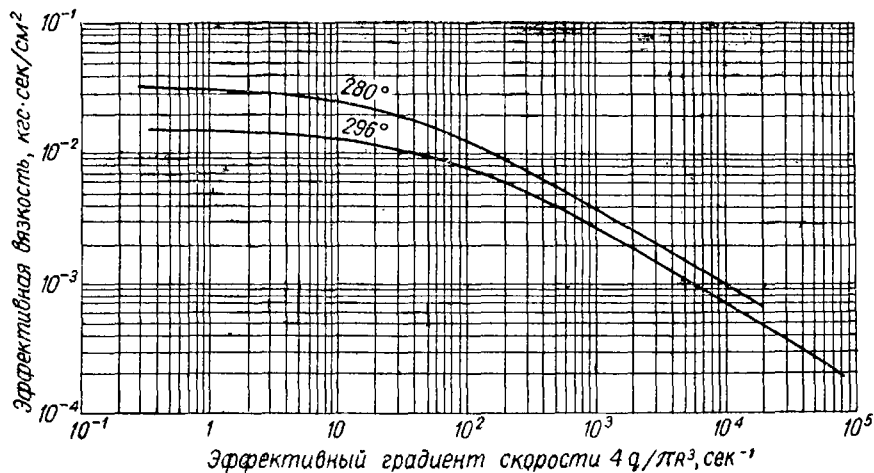


Рис. 9

Свойств

Свойства	Полиэтилен		Полистирол		Вини-пласт	Органи-ческое стекло	Фтор-лон-4
	низкой плотности	высокой плотности	блочный	эмуль-сионный			
Плотность, $г/см^3$. . .	0,92—0,93	0,94—0,96	1,03—1,07	1,05	1,38—1,4	1,18	2,14—2,25
Предел прочности, $кгс/см^2$							
при растяжении	110—140	280—400	—	—	400—600	500	140—250
» изгибе	—	—	800	900	900—1200	—	110—140
» сжатии	—	—	—	—	800—1600	1000—1200	200
Относительное удли-нение, %	—	—	—	—	10—25	2—4	250—500
Твердость							
по Бринелю	—	—	—	—	13—16	17—24	3—4
» Шору	53	63—70	—	—	—	—	—
Ударная вязкость, $кгс·см/см^2$	—	—	15	15	70—160	12—18	100
Удельная теплоем-кость, $кал/(г·град)$	0,55—0,7	0,55	0,32	—	—	—	0,25
Коэффициент тепло-проводности, $ккал/(м·ч·град)$. .	0,29	0,35	0,08—0,12	0,08—0,12	—	—	0,21
Теплостойкость, °C							
по Мартенсу	50	100	80	80	65—70	60—80	—
» Вика	—	—	—	—	—	—	100—110
Водопоглощение, %	—	—	—	0,07	—	0,2	—
Диэлектрическая про-ницаемость							
при 60 гц	2,3	2,3	—	—	—	—	1,9—2,2
» 10 ⁶ »	2,3	2,3	2,45—2,65	2,6—3,0	—	—	2,0
Тангенс угла диэлек-трических потерь при 10 ⁶ гц	0,0002	0,0003	0,0001—0,0002	0,0003	—	—	0,0002—0,0003
Удельное поверхност-ное сопротивление, $ом$	—	—	15 ¹⁵ —10 ¹⁸	10 ¹⁴ —10 ¹⁶	—	—	10 ¹⁴
Удельное объемное сопротивление, $ом·см$	10 ¹⁹	10 ¹⁸	10 ¹⁶ —10 ¹⁸	10 ¹⁴ —10 ¹⁵	—	—	10 ¹⁷
Электрическая проч-ность, $кв/мм$	45—60	45—60	—	—	—	—	25—27
Температура рас-плава при давлении под давлением, °C	150—180	170—200	190—215	190—215	—	—	360—380 **
Удельное давление, при литье, $кгс/см^2$	70—150	70—150	700—2000	700—2000	—	—	300—350 ***

* Марки 1, 2, 3 и 4 материала СНП отличаются по содержанию в них каучука соответственно 10, 10, 15 и 20%.

** Температура спекания.

*** Удельное давление при таблетировании.

Приложение 2

гермопластов

Полиамиды		Поликарбонат	Полнформальдегид	Пентон	Этрол		Материал СНП *			
6	64				ацетилцеллюлозный	этилцеллюлозный	1	2	3	4
1,14	1,14—1,16	1,20	1,425	1,4	1,4	1,2	1,033	1,033	1,033	1,033
500—800	700—1000	630—740	700	420	—	—	400	400	350	300
700—1000	800—1000	800—1200	990	775	500—550	400	900	850	700	650
500—600	700—1000	760—900	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	35	—	—	8	12	20	30
—	—	—	—	—	4,0—4,5	6,0	13	12	10	9
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
100—160	100—160	образец не ломается	—	—	35	20	30	45	50	70
—	—	0,28	0,35	—	—	—	—	—	—	—
—	—	0,17	0,198	—	—	—	—	—	—	—
50—55	65	115—125	—	—	40—45	40	—	—	—	—
—	—	150—160	—	—	—	—	95	95	95	95
—	—	—	0,4	—	0,5—0,8	0,8	—	—	—	—
—	—	3,12—3,17	—	3,1	—	—	—	—	—	—
—	—	2,96	3,7	2,8	—	—	—	—	—	—
0,025—0,04	0,02	0,003	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	$2,1 \cdot 10^{15}$	$2 \cdot 10^{13}$	—	—	—	—	—	—	—
10^{14}	10^{14}	$1,5 \cdot 10^{18}$	—	$5 \cdot 10^{15}$	—	—	—	—	—	—
15—16	20—25	—	20	16	—	—	—	—	—	—
240—260	—	260—300	—	220—240	150—200	190—200	—	—	—	—
150—800	150—800	≤ 2200	—	700—1200	800—2000	800—2000	—	—	—	—

Свойства

Свойства	Прессматериалы на основе смол			Прессматериалы на основе фенолоформальдегидных смол	
	мочевинно-формальдегидных	меламино-формальдегидных	мочевинно-меламино-формальдегидных	К-18-2	К-21-22
Плотность, $г/см^3$	1,4—1,5	1,5—1,8	1,4—1,5	1,4	1,4
Предел прочности, $кгс/см^2$					
при растяжении	350—500	500	370—500	300—600	300—600
по основе	—	—	—	—	—
по утку	—	—	—	—	—
при изгибе	600—900	500	700	700	650
при сжатии	1200—1500	2100—2200	1000—3000	1500—1600	1500—1600
перпендикулярно слоям	—	—	—	—	—
параллельно *	—	—	—	—	—
при раскалывании	—	—	—	—	—
Твердость по Бринеллю, $кгс/мм^2$	30—35	—	35—55	20—40	20—40
Ударная вязкость, $кгс·см/см^2$	—	—	—	—	—
Удельная теплоемкость, $кал/(г·град)$	0,3	—	0,3—0,4	0,32—0,36	0,32—0,36
Коэффициент теплопроводности, $ккал/(м·ч·град)$	0,1—0,27	—	0,33	0,18—0,28	0,18—0,28
Теплостойкость по Мартенсу, °С	100—120	120—135	120	125	120
Водопоглощение, %	1	0,1	0,5—0,7	—	—
Диэлектрическая проницаемость					
при 50 гц	5—7	—	—	9	7,5—9,6
» 10^6 »	—	—	—	6—7	5,4
Тангенс угла диэлектрических потерь					
при 50 гц	0,03—0,1	—	—	—	0,08
» 10^6 »	—	—	—	—	0,042
Удельное поверхностное сопротивление, $ом$	10^{10} — 10^{11}	—	—	10^{12}	$6 \cdot 10^{13}$
Удельное объемное сопротивление, $ом·см$	10^{11} — 10^{12}	—	—	10^{11}	$5 \cdot 10^{12}$
Электрическая прочность, $кв/мм$	10—15	14	—	12	15
Температура прессования, °С	140	150—160	140—150	180—190	180—190
Удельное давление при прессовании, $кгс/см^2$	250—350	250—350	250—350	200—300	200—300

* При 200 ± 10 в.

** После 24 ч выдержки в условиях 95%-ной относительной влажности.

Приложение 3

реактопластов

Стеклотекстолит на основе феноло- формальдегидных смол		Асбесто-резольные прессматериалы		Слоистые пластики		Поли- эфирный стекло- пластик	Кремний- органи- ческий прессма- териал К-41-5
электро- технический	конструк- ционный	КФ-3	К-6	текстолит	гетинакс		
1,6—1,85	1,85	1,95	1,95	1,3—1,4	1,3—1,4	1,6—1,7	1,9
—	—	250	250	—	—	1000—1800	—
900	2800	—	—	500—1000	—	—	—
700	1700	—	—	400—500	—	—	—
—	—	700	800	800—1600	800—2500	2000—3200	500
—	—	1000	800	—	—	—	—
—	—	—	—	2300—2500	1500—2600	—	—
—	—	—	—	1300—1500	—	—	—
130	—	—	—	300	160—200	—	—
—	—	30	—	30	25	—	—
50	60	21	20	20—35	13—20	70—86	18
—	—	—	—	—	—	—	—
0,25	0,25	—	—	0,18—0,3	0,18—0,3	—	—
185	185—200	200	200	120—130	150	—	200
2	2,5—5	1,0	0,8	—	—	—	0,25 г/см ²
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	8	7—8	—	—
≤ 0,06	—	—	—	—	—	—	—
0,03	—	—	—	0,02	0,01—0,07	—	—
10 ¹²	—	—	10 ¹⁰ *	10 ¹⁰ —10 ¹¹	10 ¹⁰ —10 ¹¹	—	10 ⁹ **
10 ¹²	—	—	10 ¹⁰ *	10 ¹⁰ —10 ¹¹	10 ¹⁰ —10 ¹¹	10 ¹⁰	10 ¹⁰ **
12	—	—	≥ 1,5	4,24	12—30	—	2
145—155	145—155	175—185	—	150—160	150—160	—	190—200
45—55	45—55	450	450	70—100	60—80	—	450

Режимы резания при разрезке пластмасс

Обрабатываемый материал	Режущий инструмент	Подача, <i>мм/мин</i>	Скорость резания, <i>м/мин</i>	Охлаждение при резании	Примечание
Фенопласты общего назначения	Дисковые абразивные круги	0,6	45—60	5% раствором эмульсола в воде	Указана скорость круга
		0,6	40—50		Глубина резания 0,01—0,2 <i>мм</i>
Аминопласты (I, K-77-51, K-78-54)					
Поливинилхлорид	Дисковые пилы Ленточные пилы Дисковые фрезы	1,0—1,5 0,7—1,5 0,01—0,03 <i>мм/зуб</i>	1500—2000 500—700 800—1200	5% раствором эмульсола в воде (5—10 <i>л/мин</i>)	Шаг зубьев 3—4 <i>мм</i> , развод зубьев 0,5 толщины пилы в ка- ждую сторону
Волокнит	Дисковые фрезы Абразивные круги	0,1—0,3 <i>мм/зуб</i> 0,4—0,5	250—500 45—60	Сжатым воздухом	Указана скорость круга
Текстоляты подолочные и металлургический	Ленточные и дисковые пилы Дисковые фрезы твердосплавные	0,8—1,2 0,2—0,5	300—700 200—450		Шаг зубьев 4—7 <i>мм</i> , развод зубьев по 0,5 <i>мм</i> на сторону
					Указана скорость круга

Стеклотекстолиты типа КАСТ	Ленточные и дисковые пилы твердосплав- ные Абразивные карборун- довые диски	0,05—0,25 0,3—0,6	1000—1500 2500—3000	Сжатым воз- духом; как исключение допускается охлаждение водой	Возможно применение дисковых твердо- сплавных фрез
Гетинаксы	Твердосплавные ди- сковые пилы	0,5—0,7	1000—1200	Сжатым воз- духом	Зубья из сплава ВК8
Полиамиды	Ленточные пилы Отрезные резы	0,4—0,6 0,05—0,10 мм/об	200—300 250—400		Зубья пилы смазывать маслом
		— 0,6—0,8	— 2500—2600		Шаг зубьев пилы 3— 4 мм, развод зубьев по 0,5 мм на сторо- ну
Полиэтилен низкой плот- ности (листы, профили)	Гильотинные иожницы Ленточные и диско- вые пилы	0,3—1,0 0,2—0,5	300—600 200—300	5% раствором эмульсола в воде	Шаг зубьев пилы 3— 6 мм, развод зубьев по 0,5 мм на сторо- ну
Полистирол блоч- ный	Ленточные и диско- вые пилы Дисковые фрезы				
Полиметил- метакрилат	Ленточные и диско- вые пилы	0,5—0,7 0,05—0,07 мм/зуб	800—1200 700—800	Сжатым воз- духом; как исключение допускается охлаждение водой	Шаг зубьев 2—2,5 мм, развод зубьев по 0,5 мм на сторону

Режимы резания и стойкость резцов при точении пластмасс

Обрабатываемый материал	Стойкость инструмента, мин	Глубина резания, мм	Подача, мм/об	Скорость резания, м/мин	Чистота обработки	Охлаждение при резании	Примечание
Фенопласты общего назначения	30—90 60—180 120—480	1,5—3,0 0,5—1,5	0,08—0,25	400—600 600—800	▽4—▽5 ▽5—▽6	Сжатым воздухом	При точении фенопластов с порошкообразным наполнителем величина подачи 0,1 мм/об
Аминопласты (1, 51, К-78-54)	30—90 60—180 120—480	1,5—3,0 0,5—1,0	0,05—0,15	200—400 500—600	▽5—▽6		—
Поливинилхлорид	20—60 60—120 120—360	2,0—10,0 0,5—1,0	0,4—0,5 0,1—0,2	100—250 250—350	▽6—▽7	Сжатым воздухом; 5% эмульсолом	Подачи менее 0,2 мм/об нежелательны (плохой отвод стружки)
Волокнит	60—90 90—180 180—480	3,0—5,0 1,0—2,5	0,1—0,2 0,05—0,1	300—400 500—600	▽5—▽7	Сжатым воздухом	Скорость резания ограничивается прижогами и задирами
Текстолиды порошковые и металлургический	30—60 60—90 90—180	3,0—5,0 0,5—1,0	0,1—0,5 0,08—0,2	80—160 170—300	▽4—▽6		—

Стеклотекстолиты типа КАС	15—30 30—60 60—120	2,0—4,0 0,5—2,0	0,1—0,2 0,06—0,1	90—100 120—150	У4—У6	Сжатый возду- хом; допустимо использование воды	Рабочее место снаб- жать вытяжной вен- тиляцией
Гетинаксы	30—60 60—90 90—180	2,0—3,0 0,5—2,0	0,20—0,35 0,10—0,15	180—240 240—300	У5—У7	Сжатый возду- хом	Скорость резания огра- ничивается вслед- ствие скалывания ма- териала
Полиамиды	15—30 30—90 90—120	2,0—4,0 1,0—2,0	0,2—0,5 0,1—0,2	100—200 200—250	У7—У8	Сжатый возду- хом, водой	Необходимо обеспе- чить хороший отвод стружки
Полиэтилен ¹ низкой плотности (ли- сты, профили)	30—60 60—120 120—240	3,0—5,0 0,5—3,0	0,5—1,0 0,1—0,2	500—700 700—1000	У6—У7	Сжатый возду- хом	Необходимо обеспечить хороший отвод стружки
Полистирол блочный	60—90 90—180 180—360	1,5—4,0 0,5—1,5	0,1—0,2 0,02—0,08	50—100 100—200	У7—У8	5% водным рас- твором эмуль- сола	—
Полиметилметакрилат	30—90 60—120 120—360	1,5—3,0 0,5—1,5	0,1—0,2 0,05—0,1	75—100 100—150	У6—У7	Сжатый возду- хом; охлаж- дающей жид- костью	Материал весьма чув- ствителен к надре- зам

Примечания. 1. Стойкость инструмента дана соответственно для работы на универсальных станках, подвавтоматах и автоматах. При обработке фенопластов, аминопластов, поливинилхлорида, волокнита, текстолита, стеклотекстолита и гетинаксов использовался твердосплавный инструмент (ВК6 и ВК8), при обработке полиамидов, полиэтилена, полистирола и полиметилметакрилата — инструмент из быстрорежущей стали Р18.

2. В числителе приводятся данные для черновых проходов, в знаменателе — для чистовых проходов.

Приложение 6
Режимы резания при фрезеровании некоторых пластмасс и стойкость фрез

Обрабатываемый материал	Стойкость инструмента, мин	Глубина резания, мм	Подача, мм/зуб	Скорость резания, м/мин	Чистота обработки	Охлаждение при резании	Примечание
Фенопласты общего назначения	$\frac{30-60}{60-150}$	$\frac{5-7}{2-3}$	$\frac{0,4-0,8}{0,1-0,25}$	$\frac{150-250}{250-350}$	$\nabla 6-\nabla 7$	Воздухом	Подача в направлении вращения фрезы
Аминопласты (К-77-51, К-78-54)	$\frac{30-60}{60-150}$	$\frac{5-7}{3-5}$	$\frac{0,4-0,8}{0,1-0,25}$	$\frac{150-250}{250-350}$	$\nabla 6-\nabla 7$		—
Поливинилхлорид	$\frac{90-120}{120-180}$	$\frac{8-12}{3-8}$	$\frac{1,0-2,0}{0,5-1,0}$	$\frac{300-550}{600-800}$	$\nabla 5-\nabla 7$		Фрезеровать без толчков и ударов
Волокнит	$\frac{60-120}{120-150}$	$\frac{5-7}{2-4}$	$\frac{0,2-0,3}{0,08-0,15}$	$\frac{150-200}{200-350}$	$\nabla 5-\nabla 6$		—
Текстолиты подделочные и металлургический	$\frac{60-120}{120-150}$	$\frac{6-8}{3-5}$	$\frac{0,3-0,4}{0,1-0,2}$	$\frac{100-200}{200-350}$	$\nabla 6-\nabla 7$	Воздухом; допускается приращение воды	Высокое пылеобразование
Стеклотекстолиты типа КАС	$\frac{30-90}{90-120}$	$\frac{3-5}{1-2}$	$\frac{0,10-0,15}{0,05-0,1}$	$\frac{200-300}{350-500}$	$\nabla 5-\nabla 6$		Рабочее место снабжать индивидуальным отсосом пыли

Гетинаксы	60—120 120—150	2—4 1—2	0,10—0,25 0,08—0,1	100—120 140—180	У6—У7	—
Полиамиды	60—120 120—180	3—5 1—2	0,2—0,25 0,05—0,15	100—140 150—180	У6—У7	Скорость резания ограничивается вследствие оплавления кромок
Полиэтилен низкой плотности (листы, профили)	60—120 120—180	3—5 1—2	0,25—0,30 0,08—0,2	400—600 700—1000	У6—У7	Применять фрезы со спиральным зубом
Полистирол блочный	60—120 120—180	3—5 1—2	0,3—0,5 0,08—0,2	150—200 250—400	У5—У7	—
Полиметилметакрилат	60—120 120—180	3—5 1—2	0,08—0,1 0,03—0,05	125—150 180—300	У6—У8	Вращение инструмента направлять против движения подачи

Примечания: 1. Стойкость инструмента дана соответственно для работы на универсальных станках и полуавтоматах. При обработке фенпластов, аминопластов, стеклопластов, твердосплавный инструмент (ВК6, KB8), при обработке поливинилхлорида, волокниста, текстолитов, гетинаксов, полиамидов, полнэтилена, полистирола и полиметилметакрилата — инструмент из быстрорежущей стали Р18.

2. В числителе приводятся данные для черновых проходов, в знаменателе — для чистовых проходов.

Стеклотекстолиты типа КАСТ	Сверло цилиндрическое спиральное	P9, P18	12—30	0,05—0,10	100—120	Сжатым воздухом; в виде исключения применяется жидкостное охлаждение	В процессе сверления выводить сверло из отверстия для охлаждения
Гетинаксы	Сверло леровое Сверло цилиндрическое спиральное	ВК6, ВК8 P9 P18	20 12—30	0,05—0,10 0,10—0,15	20—25 30—35	Сжатым воздухом	По возможности извлекать сверления отверстий параллельно слоям
Полиамиды	Сверло цилиндрическое спиральное	P9, P18	20	0,25—0,35	35—40	Сжатым воздухом	Чистота поверхности V7—V8
Полиэтилен низкой плотности (листы, профили)	Сверло цилиндрическое спиральное с уширенной (на 1,25 мм) канавкой (фили)	P9, P18	6—60	0,4—0,8	40—75	Сжатым воздухом	При сверлении отверстий >2,5d * сверло через 7—8 мм выводить для охлаждения
Полистирол блочный	Сверло цилиндрическое спиральное	У10, P9	20	0,03—0,10	10—25	Водным 5% раствором эмульсола	Для сверления сквозных и глухих отверстий
Полиметилметакрилат	Сверло цилиндрическое спиральное с двойной заточкой	P9, P18	12—30	0,05—0,12	40—60	Сжатым воздухом; допускается охлаждение жидкостями	Сверление применять только для предварительной обработки отверстий

* d — номинальный диаметр сверления.

Режим резания при шлифовании пластмасс

Обрабатываемый материал	Режущий инструмент	Подача, м/мин	Скорость издвигания, м/мин	Скорость резания, м/мин	Охлаждение при резании	Примечание
Фенопласты общего назначения Аминопласты (1, К-77-51, К-78-54)	Круги абразивные, корундовые и карборундовые	3—4	3—5 2—3	1500—1700 1600—1800	—	—
Поливинилхлорид	Наждачные диски и полотна	2—3	—	1200—2400	Сжатым воздухом	Зернистость наждака 60—80
Волокнит	Наждачные диски и полотна	3—5	3—5	1500		—
Текстолиты поделочные и металлургический	Абразивные круги с мягкой связкой, зернистость 30—40	3—5	3—4	1500—1600		Глубина резания 0,1—0,15 мм
Стеклотекстолиты типа КАСП	Круги абразивные, корундовые и карборундовые	3—4	2—3	1400—1800	—	Необходимо обеспечить полный отсос пыли
Гетинаксы	Абразивные круги с мягкой связкой, зернистость 30—40	3—5	3—4	1500—1600	—	Глубина резания 0,1—0,15 мм
Полиамиды	Хлопчатобумажные или суконные круги	1—1,5	2—3	1500—1700	Водой	—
Полиэтилен низкой плотности (листы, профили)	Шлифовальные круги, полукруглые специальными пастами					Применяны абразивы, используемые при шлифовке легких сплавов
Полистирол блочный Полиметилметакрилат	Абразивные круги, применяемые для обработки легких сплавов, наждачные полотна, хлопчатобумажные или суконные шлифовальные круги	2—3	3—5	1700—2000		—

Примечание. В числителе указаны режимы резания для черновой обработки, в знаменателе — для чистовой.

Приложение 9
Режимы механической обработки пенопластов

Оборудование	Скорость резания, м/сек	Подача пенопласта, м/мин		Глубина резания пенопласта, мм	
		неармированного	армированного фанерой	неармированного	армированного фанерой
Ленточные станки	30—30	$\leq 1,0-1,5$ $\leq 1,0-1,5$ (для $\gamma_0 \geq 0,2$ г/см ³)	$\leq 0,75-1,25$ $\leq 1,5-2,0$	—	—
Круглопильные станки	$\approx 30-80$	$\leq 3,0-4,0$ (для $\gamma_0 \leq 0,2$ г/см ³)	$\leq 2,0-3,0$	—	—
Фуговально-строгальные станки	$\approx 26-33$	$\leq 1,7-2,2$	$\leq 2,0-2,5$	$\leq 2,0$	$\leq 2,0$
Односторонние рейсмусовые станки	$\approx 26-33$	$\leq 1,7-2,2$	$\leq 2,0-2,5$	$\leq 1,0-3,0$	$0,5-3,0$
Одношпиндельные фрезерные станки	$\approx 14-24$	$\leq 1,0-2,0$	$\leq 1,5-2,5$	$\leq 0,5-3,0$	$0,5-2,0$
Вертикально-сверлильные станки (инструмент — пустотелое сверло)	500—3000 об/мин	0,25—0,75 (для ПС-1) 0,5—1,0 (для ПС-4) 0,5—1,0 (для ПВХ-1)	—	Наибольшая глубина сверления ≈ 150 мм	—

Клеи

Наименование и марка клея	Основные компоненты клея	Склеиваемые материалы							Жизнеспособность клея
		метал- лы	пласт- массы	резины	дерево	стекло и кера- мика	кожи	ткани	
Феноло-формальдегидные клеи									
ВИАМ Б-3	Феноло-формальдегидная смола ВИАМ-Б, отвердитель — керосиновый контакт	—	+	—	+	—	—	+	2—6 ч
КБ-3	Феноло-формальдегидная смола Б, отвердитель — керосиновый контакт	—	+	—	+	—	—	+	2—6 ч
КР-4	Феноло-формальдегидная смола Р, отвердитель — керосиновый контакт	—	+	—	+	—	—	+	2—6 ч
ЦНИИМОД-1	Смола ЦНИИМОД, отвердитель — керосиновый контакт	—	+	—	+	—	—	+	2—6 ч
Бакелитовые: ВФ, ВК, СБС-1, СКС-1	Феноло-формальдегидная резольная смола	+	+	—	+	—	—	+	6—9 месяцев
БФ-2 и БФ-4	Спиртовой раствор резольной смолы и поливинилбутираля	+	+	—	+	+	+	+	—
БФ-3 и БФ-5	То же	—	+	—	—	—	—	—	—
БФ-6	»	—	—	—	—	—	—	+	—
ВК-32-200	Феноло-формальдегидная смола, акрилонитрильный каучук	+	+	—	—	—	—	—	—

ВК-32-250 ВС-10Т ВС-350	То же Фенол-фурфурольная смола и поливинилце- таль	+	+	+	+	+	+	+	+	6 месяцев
	То же	+	+	+	+	+	+	+	+	6 месяцев

КМ-3 К-17 КМ-12	Мочевинно-формальдегид- ная смола СМК-2, от- вердитель — молочная кислота	—	+	—	+	+	+	+	+	2—4 ч
	Мочевинно-формальдегид- ная смола МФ-17, от- вердитель — щавеле- вая кислота	—	+	—	+	+	+	+	+	3—5 ч
	Мочевинно-формальдегид- ная смола М, отверди- тель — сернокислый ам- моний	—	+	—	+	+	+	+	+	3—6 ч

Клей из смолы ЭД-5 Клей из смолы ЭД-6	Смола ЭД-5, отверди- тель — полиэтиленопо- лиамин или гексамети- лендиамин (холодное отверждение)	+	+	—	+	+	+	+	+	0,5—0,7 ч
	Смола ЭД-6, отвердите- ли — полиэтиленполи- амин или гексаметилен- диамин (холодное от- верждение), малеиновый ангидрид (горячее от- верждение)	+	+	—	+	+	+	+	+	0,5—0,7 ч

Продолжение

Наименование и марка клея	Основные компоненты клея	Склеиваемые материалы							Жизнеспособность клея
		металлы	пластмассы	резина	дерево	стекло и керамика	кожи	ткани	
Клей на основе смолы ЭД-6	Смола ЭД-6 с добавкой дибутилфталата или трикрезилфосфата, отвердитель — полиэтиленполиамин	+	+	—	+	—	—	—	—
	Смола Э-40 с добавкой дибутилфталата, отвердитель — полиэтиленполиамин	+	+	—	+	—	—	—	1—1,5 ч
	Смола Э-41, с отвердителем	+	—	—	—	—	—	—	> 1 года
Метиллолполиамидные клеи									
МПФ-1	Смола ПФЭ-2/10, резольный лак	+	+	—	—	—	—	—	—
ПФЭ-2/10	Спиртовой раствор метиллолполиамидной смолы с отвердителем	+	+	+	+	+	+	+	—
Полиэфирные клеи									
АМК	Глифталевая смола, сиккатив	—	—	—	—	+	—	—	8—9 месяцев
Полиуретановые клеи									
ПУ - -	Поллиуретан	+	+	+	+	+	—	—	—

Фуриловые клеи

Ф-10	Фурил-фенол-формальдегид-ацетальная смола	+	+	—	—	+	—	—	—
ФЛ-1	То же	+	—	—	—	—	—	—	—
ФЛ-4	»	+	—	—	—	—	—	—	—
ФЛ-4с	Фурил-фенол-формальдегид-эпоксидная смола с пластификатором диоктилсебацатом	+	—	—	—	—	—	—	—

Стиролбутилметакрилатные клеи

СБМ	Стирол с добавкой бутилметакрилата, перекись бензоила	+	+	—	—	+	—	—	—
БМА	Полибутилметакрилат	—	—	—	—	+	—	—	48 ч

Перхлорвиниловые клеи

Перхлорвиниловый	Перхлорвиниловая смола	—	+	+	—	—	—	—	—
------------------	------------------------	---	---	---	---	---	---	---	---

Кремнийорганические клеи

ВКТ-3	Смесь модифицированной кремнийорганической смолы и полибутилметакрилата	+	—	—	—	—	—	—	0,75—1 ч
ИП-9	Полисилоксановая смола, модифицированная эпоксидной смолой	+	+	—	—	—	—	—	—

Примечание. Знаками (+) указаны материалы, которые могут быть склеены, знаком (—) — материалы, которые данным клеем не склеиваются.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Абразивные круги 327 сл., 386
Адгезия 353 сл.
Адиабатические машины см. Машины
Аккумуляторы 55, 66, 229
Атактическая структура 13
Аутогезия 355

Баттенфельда машина см. Литьевые машины

Вайссенберга эффект см. Эффект *Вайссенберга*

Вакуумформование 236, 239 сл., 252

Валки
гладильные 198, 199, 203

тянущие 184, 198, 199

Вальцово-каландровый способ 232 сл.

Вибропитатель 165

Виндзора машина см. Литьевые машины

Винилпласт 321, 322, 324
методы переработки 100, 265, 317, 331, 332, 346, 358

производство изделий 201, 202, 214—216, 232
свойства 374

Вихревое напыление см. Напыление

Внутренние напряжения при прессовании 90

Вспенивание 302—305

Выдавливание (экструзия) 144 сл.

непрерывное 262
особенности процесса 146 сл.
производство пленок 175 сл., 186
листов 195 сл.
труб 203 сл.

Выдувание
полых изделий 219

свободное 254

Вырубка 311, 321

Вытяжка 30

при формовании 243

при экструзии 186, 201, 212, 213

Вязкость 37

ударная 48, 347, 374—377

эффективная 38, 154, 369—373

Газонаполненные пластмассы см. Пенопласт-массы

Газообразователи 294

Газопламенное напыление см. Напыление

Гетинакс 265, 317, 321—323, 333, 379, 381, 383, 385

Гибка 267

Гидроприводы 229

Гистерезис 28

Гладильное устройство 198

Гладильные валки см. Валки

Головка

плоская 190

пресса профильного прессования 101 сл.
с распределительными планками 193

угловая 193

червячного пресса 156 сл., 178 сл., 190, 193, 196, 205, 220

щелевая 193

Гранулирование 168 сл., 174
Гранулометрический состав 43
Гранулятор 129, 130

Давление

в зоне загрузки 148

инъекции 108

при вспенивании 306

расплава 112, 168

Деполимеризация 32

Деструкция 31, 135

Деформация 24 сл., 33, 316

Дисковый пресс 172, 173

Дистрибутор 55, 59, 60, 101

Диэлектрическая проницаемость см. Проницаемость

Диэлектрические свойства

пластмасс 51

реактопластов 376, 377

термопластов 374, 375

Дозирующее устройство 110

Дробилки 129, 130

Закон *Ньютона* 38, 147

Индекс расплава 41, 42, 188, 216

Индукционная сварка см. Сварка

Инжекционный цилиндр 107, 110 сл.

Каландрование 232 сл.

Кассета 299, 300

Каширование 194, 235

Клен

БФ-2 и БФ-4 359

марки 388—391

эпоксидные 358

Когезия 353, 354

Ко-кнетер 168

Колонный пресс 57

Константы реологические 38

Конформация 15

Коэффициент

использования материала 319

сжатия 148

теплотдачи 85, 86

теплопроводности 85, 86, 374—377

Крип см. Ползучесть

Кристаллизация 18, 19, 31, 187

Критерий

Грасгофа 85

Прандтля 85

Листы

переработка 236

получение

выдавливанием 195, 199

прессованием 97

Литье под давлением 105 сл.

автоклавное 140

безлитниковое 128

прессформы 125

- Литье под давлением
производство изделий 129
точечное 128
центробежное 140
- Литье полимерно-мономерное 307 сл.
- Литьевые композиции 308
- Литьевые машины 109 сл.
карусельные 122
основные расчеты 136
поршневые 115
типа *Баттенфельд* 118
типа *Виндзор* 115
червячные 116
- Маллоука и Мак-Кельви* уравнение 154
- Марки клеев см. Клеи
- Марки пластмасс 54, 286, 292, 293, 297, 298, 301, 330, 333, 374—377, 378—387
- Машины
адиабатические 233
вакуумформовочные 243
литьевые см. Литьевые машины
поливные 233
таблеточные 68 сл.
центробежные формовочные 278
экструзионные 144, 158 сл., 233
- Металлизация 342
- Метод
беспрессовый 302
вальцово-каландровый 232, 233
контактный 270, 273
макания 235
намотки 277
Плакса 218
пневмоформования 252, 253
полива 233
пресскамеры 274, 275
прессовый 297
формования 236, 256 сл., 261
с резиновым чехлом 273
центробежный 277
- Механические свойства
пластмасс 46 сл.
реактопластов 376, 377
термопластов 374, 375
- Мипора 293, 296
- Моделирование 155
- Мочевина-формальдегидная смола 293, 372, 389
- Мундштуки 112, 228
- Нагрев
высокочастотный 72, 351
диэлектрический 72
индукционный 111, 166
органического стекла 318
прессматериала 72
при вакуумформовании 239 сл.
вспенивании 302, 304
штамповании 265
штамповке 317
- Надмолекулярная структура 17 сл., 190, 355
- Надрезка 311
- Найлон 125, 378
- Напряжение(я)
внутренние 90, 130
сдвига 34, 37
усадочные 106
- Напыление 218, 289, 290
- Нагосы 55, 57, 66
- Недопрессовка 44, 90
- Неньютоновские жидкости 38
- Ньютоновские жидкости 37
- Обогрев
нижекционных цилиндров 111
прессформ 80 сл.
системы см. Системы обогрева и охлаждения
- Обработка изделий механическая 335 сл.
- Обрезка 311
- Организация производства 361 сл.
- Органическое стекло 321, 322, 324
методы переработки 265, 317, 318, 332, 358
свойства 374
- Ориентация 29, 190, 194
- Отбортовка 267
- Отверждение 45, 308, 309
- Отжиг 90, 107
- Охлаждение
прессизделий 90, 136
рукава 184
системы см. Системы обогрева и охлаждения
- Пенопластмассы (газонаполненные пластмассы) 291 сл.
- Пенопласты 291, 341, 354, 387
- Пенополивинилхлорид 300, 301
- Пенополистирол 295, 298, 299
- Пенополиуретан 295, 341
- Пентон 371
- Пнтатели 110, 163 сл., 339
- Плакса* метод см. Метод *Плаксы*
- Пластикация 120, 121
- Пластификация 23, 24
- Пластометр
Канавца 44
экструзионный 41, 42
- Пленка(и) 175 сл., 232 сл.
- винилпластовая 232
ориентированная 194
пластиковая 232
плоские 190
полистирольная 350
полиэтиленовая 188, 345, 348—350
фторононая 287 сл.
- Пневматическое напыление см. Напыление
- Пневмоформование 236 сл., 260, 261
- Полиэфирная смола 16, 269
- Подпрессовка 89
- Ползучесть (крип) 27
- Полиамиды
методы переработки 112, 133, 288, 379, 381, 383, 385
свойства 373, 375
- Поливинилхлорид
методы переработки 134, 135, 201, 292, 296, 346, 378, 380, 382, 384, 386
производство изделий 201, 202, 212
свойства 148, 372
- Поливочная машина см. Машины
- Полигексаметиленадипамид 373
- Поликапролактамы 372
- Поликарбонаты 134, 375
- Полимеры
аморфные 20, 106, 212
вспенивание 294
вытяжка 30, 243
кристаллические 17, 106, 112
плотность упаковки 11 сл., 18
старение 31, 32
стеклование 20, 21, 25
структура 13, 17, 31, 106
сшивки 16
текучесть 23, 38
физические состояния 22 сл.
- Полипропилен 217, 357
- Полирование 334

- Поллестирол
 методы переработки 134, 292, 350, 358, 379, 381, 383, 385, 386
 производство изделий 199, 302
 свойства 199, 374, 370
 Политетрафторэтилен 352, 359
 Полиуретан 293
 Полиформальдегид 371
 Поллэтилен
 методы переработки 133, 186, 188, 201, 202, 265, 288, 347, 357, 379, 381, 383, 385
 производство изделий 213, 216, 217, 224, 229
 свойства 148, 202, 369, 370, 374
 Полые изделия 218 сл.
 Поропласты 291, 295
 Предпластикатор 109, 111, 119, 121
 Прессы 55 сл.
 дисковые 172 сл.
 червячные 144, 152—155, 158 сл., 179, 196, 205, 220, 266
 одночервячные 158 сл.
 двухчервячные 169 сл.
 Прессматериалы 376, 377
 Прессование 53 сл., 71—73, 87, 90—92
 литьево (трансферное) 55, 98
 прогрессивные методы 92
 профильное (штрагпрессование) 99 сл.
 с упругим пуансоном 277
 Пресспорошки 43, 44, 73, 87, 89
 Прессформа(ы) 73 сл., 79, 80—84, 125
 для литья 125 сл.
 расчет электрообогрева 84—87
 Рашига 41, 47
 телескопическая 298, 299
 Прибор
 Бринеля 49
 Вика 50
 Мартенса 50
 тензометрический 168
 Пробивка 311, 312
 Проницаемость диэлектрическая 51, 72, 374—377
 Просечка 311
 Прочность
 клевого соединения 353, 355
 при раскалывании 376, 377
 растяжении 46, 188, 374—377
 сжатии 48, 374—377
 статическом изгибе 47, 374—377
 сварного соединения 347
 электрической 52
 Пустотелые изделия 301

 Рамный пресс 57
 Распиливание 325
 Распыление катодное 343
 Реактопласты 41, 43
 использование отходов 92
 методы переработки 138 сл., 358
 свойства 376, 377
 Режим
 выдавливания 224, 229
 каландрирования 233
 литья под давлением 133, 134
 отверждения 308
 получения листов 199
 пластика 203
 труб 215—217
 резания 378, 387
 формования 240, 241
 штампования 265
 Резание 310, 324, 327, 329, 378—387
 Релаксация 26, 39

 Реологические константы см. Константы реологические
 Реология расплавов 32 сл.
 Рихтовка 90
 Рольганги 198

 Сварка 344 сл.
 автоматическая 349
 высокочастотная 345, 350
 горячим газом 345
 индукционная 345
 нагретым инструментом 345, 347
 с использованием шприц-машины 345
 теплоизлучением 345
 термоимпульсная 350
 трейнем (фрикционная) 345, 349, 350
 ультразвуковая 351
 Сверление 332 сл., 339, 342, 384, 385
 Сдвиг 34 сл., 37, 157
 Синдиотактическая структура 13
 Системы обогрева и охлаждения 165
 Склеивание 353 сл., 358, 359
 Слоистые пластики 96 сл., 263, 265, 323, 326, 377
 СНП
 методы переработки 199, 265, 321
 свойства 375
 Сошло мундштука 112 сл.
 Спекание 288, 289
 Стабилизаторы 32, 135, 214, 232
 Стеклопластики 269 сл., 270, 281
 Стеклотекстолит 321—323, 330, 331, 377, 379, 381, 382, 385, 386
 Стереорегуляторная структура 13
 Сырье, хранение и транспортировка 361, 362

 Таблетирование 68, 71, 284
 Тангенс угла диэлектрических потерь 51, 72, 374—377
 Твердомер 49
 Твердость
 пластмасс 49
 реактопластов 376, 377
 термопластов 374, 375
 Текучесть 23, 38
 прессматериала 44, 89
 пресспорошка 54
 реактопластов 44
 термопластов 41, 42
 Температура
 инжекционного цилиндра 111
 литья под давлением 374, 375
 отверждения литьевых композиций 308
 отверждения полиэфиров 270
 прессования 89, 102, 376, 377
 сварки 344 сл.
 спекания 374
 стеклования 21, 22, 107
 текучности 25, 107
 формования 240
 хрупкости 25
 Тепловые свойства
 пластмасс 50
 реактопластов 376, 377
 термопластов 374, 375
 Теплоемкость 374—377
 Теплостойкость 50, 374—377
 Термомеханические кривые полимеров 29
 Термопласты 41 сл.
 методы переработки 100, 195 сл., 240, 263, 288, 318, 321, 355, 358
 свойства 374, 375, 369—373

- Техника безопасности
в производстве изделий из стеклопластиков 282
при литье под давлением 142
обработке фторлонов 288
прессовании 103
склеивании 359
Течение сплавов полимеров 38, 39, 172
Тиснение 268
Точение 329
Трубы 100, 203 сл. 6—208, 267
винипластовые 214, 215
полипропиленовые 217
полиэтиленовые 213, 216, 348
стеклотекстолитовые 277
фторлоновые 286
- Удельное давление
инжекции 107
литья 374, 375
прессования 89, 97, 102, 376 сл.
сварки 344, 350
таблетирования 374
штамповки 322, 323
Удельное объемное сопротивление 51, 374—377
Удельное поверхностное сопротивление 51, 374—377
Удельный объем порошкообразных материалов 43
Универсальная камера 256 сл.
Усадка 46, 90, 106, 108, 241, 285, 287
- Феноло-формальдегидная смола 269, 292, 295, 376, 377, 388
Фильеры 234
Формование
автоклавный способ 274
в водной среде 281
воздушное 280
в универсальных камерах 256
высокопроизводительные методы 261
комплексное 260, 261
непрерывное 262
предварительное 280
с резиновым чехлом 273
центробежный метод 277
шланговый способ 281
- Формы 24, 270
гальванобетонные 247
для вспенивания 304, 305
для полимерно-мономерного литья 307
прямобразные 254
реберные 245
цельнокорпусные 245
Фрезерование 331, 342, 382, 383
Фторлон-4 284 сл., 286, 353, 374
Фторлоны 267, 284 сл., 321, 322, 324, 353
- Целлулонд 266
- Червяк
зоны 147 сл.
производительность 152
размеры 145, 150, 160 сл., 171
Червячные прессы 141, 158 сл.
моделирование 155
- Шенкеля формулы 155, 156
Шланги 211, 212
Шлифование 334, 386, 387
Шнек-машины 144
Шприцевание см. Выдавливание
Шприц-машины 144
Штампование 263 сл.
Штамповка разделительная 310 сл.
Штампы 311 сл.
Штрангпрессование см. Прессование профильное
- Экструзионные машины 144, 158 сл.
Экструзия см. Выдавливание
Электрическая прочность 52, 374—377
Энгеля метод см. Спекание
Эпоксидная смола 293
Этажный пресс 57, 58
Этрол 375
Эффект
Вайссенберга 39, 172
краевой 351
Эффективная вязкость см. Вязкость

О Г Л А В Л Е Н И Е

Предисловие	4
Введение	6
 Глава I	
Основные физико-химические свойства высокомолекулярных соединений . . .	11
Структура и свойства высокополимеров	11
Кристаллическое и аморфное состояния полимеров	17
Кристаллические полимеры	17
Аморфные полимеры	20
Физические состояния полимеров	22
Деформация полимеров	24
Релаксация. Ползучесть. Гистерезис	26
Термомеханические кривые	29
Ориентация полимеров	29
Старение полимеров	31
Реология расплавов полимеров	32
 Глава II	
Технологические свойства пластмасс	41
Термопласты	41
Реактопласты	43
Определение физико-механических свойств пластмасс	46
Механические свойства	46
Тепловые свойства	50
Диэлектрические свойства	51
 Глава III	
Прессование	53
Оборудование для прессования	55
Прессы	55
Насосы. Аккумуляторы	66
Таблеточные машины	68
Устройства предварительного подогрева	71
Прессформы	73
Оформляющие детали	74
Конструктивные детали	75
Нагревательные детали	80
Типы прессформ	82
Расчет электрообогрева	84
Процесс прессования	87
Брак и его предупреждение	90
Использование отходов	92
Прогрессивные методы прямого прессования	92
Прессование слоистых пластиков	96
Литьевое прессование	98
Профильное прессование (штрангпрессование)	99

Техника безопасности в производстве изделий методом прессования из термореактивных материалов	103
Производственный травматизм	103
Мероприятия по охране труда	103

Глава IV

Литье под давлением	105
Основные закономерности	106
Литьевые машины	109
Прессформы	125
Производство изделий	129
Брак при литье и его предупреждение	131
Специфика литья под давлением	132
Основные расчеты литьевых машин	136
Переработка термореактивных материалов литьем под давлением	138
Центробежное и автоклавное литье	140
Техника безопасности в производстве изделий методом литья под давлением	142
Производственные вредности	142
Мероприятия по охране труда	142

Глава V

Выдавливание (экструзия)	144
Основные закономерности процесса	145
Движение полимера в канале червяка	146
Производительность червячного пресса	152
Мощность привода червячного пресса	154
Основные принципы моделирования червячных прессов	155
Выдавливание через головки	156
Червячные прессы	158
Одночервячный пресс	158
Ко-кнетер	168
Двухчервячный пресс	169
Адиабатические машины	172
Дисковый пресс	172
Гранулирование	174
Производство пленок	175
Выдавливание червячными прессами	175
Метод пневматического растяжения	176
Управление процессом	186
Технологический процесс производства пленки из полиэтилена низкой плотности	188
Плоские пленки	190
Ориентирование пленки	194
Покрывание бумаги полимерными пленками	194
Производство листов	195
Листовальный агрегат	195
Технологический процесс производства листов из ударопрочных полистиролов	199
Технологический процесс производства листового винилпласта	201
Технологический процесс производства листового полиэтилена	201
Технологический процесс производства полотна из мягкого поливинилхлорида	202
Производство труб	203
Агрегат для производства труб	204
Установка для производства шлангов	211
Управление процессом	212

Технологический процесс производства винилпластовых труб	214
Технологический процесс производства труб из полиолефинов	216
Полиэтиленовые изделия	218
Агрегат для производства изделий малой емкости (до 1 дм ³)	220
Агрегат для производства изделий большой емкости	226
Переработка отходов	231

Глава VI

Изготовление полимерных пленок методами каландрирования и полива	232
--	-----

Глава VII

Переработка листовых материалов	236
Пневмо- и вакуумформование	236
Основные закономерности и технология процессов пневмо- и вакуум- формования	238
Формы	244
Пневмо- и вакуумформовочные установки	248
Вакуумформовочные машины	248
Пневмоформовочные установки	252
Комбинированное формование в универсальных камерах	256
Комплексное механизированное пневматическое формование	260
Высокопроизводительные методы формования	261
Штампование	263
Технологический процесс	265
Гибка и отбортовка	267
Тиснение	268

Глава VIII

Производство крупногабаритных изделий из стеклопластиков	269
--	-----

Глава IX

Переработка полимерных материалов спеканием	284
Переработка фторлонов	284
Фторлоновые трубы	286
Фторлоновые пленки	287
Спекание термопластов	288
Нанесение полимерных пленок на металлы	289

Глава X

Методы производства изделий из пенопластмасс	291
Прессовый метод	297
Производство изделий из пенополистирола (ПС-1, ПС-4 и др.)	297
Производство изделий из пенополивинилхлорида	300
Производство пустотелых изделий	301
Беспрессовый метод	302
Производство изделий из вспенивающегося полистирола	302
Вспенивание в конструкциях	305

Глава XI

Полимерно-мономерное литье	307
--------------------------------------	-----

Глава XII

Переработка пластических масс в твердом состоянии	310
Штамповка	310
Оборудование для штамповки листовых и слонстых материалов	311
Штампы	311
Процесс штамповки	315
Усилия при штамповке	320
Обработка резанием	324
Резка	324
Распиливание	325
Точение	329
Нарезание резьбы	330
Фрезерование	331
Сверление	332
Шлифование	334
Полирование	334
Обработка изделий	335
Металлизация пластмасс	342

Глава XIII

Сварка и склеивание	344
Сварка	344
Методы сварки	345
Склеивание пластмасс	353
Физико-химические основы склеивания	353
Основные виды промышленных полимерных клеев	356
Технология склеивания	356
Примеры склеивания пластмасс	358
Техника безопасности при склеивании	359

Глава XIV

Организация производства	361
Склад сырья	361
Прессовое производство	362
Производство изделий литьем под давлением	363
Производство изделий методом пневматического формования	364
Производство полых изделий	364
Производство профильно-погонажных изделий	365
Литература	366
Приложения	369
Предметный указатель	392

*Евгений Александрович Брацыхин,
Семен Соломонович Миндлин,
Константин Николаевич Стрельцов*

ПЕРЕРАБОТКА ПЛАСТИЧЕСКИХ МАСС В ИЗДЕЛИЯ

с 400

УДК 678.02:678.05

Б. 3. № 20 1966 г. пор. № 24

Издательство «Химия», Ленинградское отделение
Невский пр., 28

Редакторы: *Безбородко Г. Л., Кузнецов Ю. К.,
Пинчук А. Е.*

Техн. редактор *Маркова З. Е.*

Переплет художника *Яценко Л. А.*

Корректоры: *Любович Л. А., Шубина Н. Я.*

Сдано в набор 10/VI 1966 г. Подписано к печати 8/X 1966 г.
М-15872. Формат 60×90¹/₁₆. Бумага типогр. № 2. Тираж 23 000 экз.
Уч.-изд. л. 26,05. Печ. л. 25. Цена 96 коп. Заказ № 232.

Ленинградская типография № 2 имени Евгении Соколовой
Главполиграфпрома Комитета по печати
при Совете Министров СССР, Измайловский проспект, 29.

ОПЕЧАТКИ

Стр.	Строка	Напечатано	Должно быть
16	3 сверху	полифункциональных	функциональных
34	7 снизу	Изменение	Измерение
168	3—4 сверху	теплостойкой	термостойкой
171	3 снизу	питанием	питателем
172	15 »	вязкоэластической	высокоэластической
178	1 »	увеличением	с увеличением
207	5 »	отходящей	охлаждающей
209	2 »	вариантом	вариатором
325	1 »	торцы	зубцы
342	21 сверху	Ножки	Ножи