



Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Обработка материалов давлением»

# **ОБРАБОТКА ДАВЛЕНИЕМ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**ПОСОБИЕ**

**по одноименной дисциплине  
для студентов специальности 1-36 01 05**

**«Машины и технология обработки  
материалов давлением»  
заочной формы обучения**

**Электронный аналог печатного издания**

**Гомель 2007**

УДК 678.02/.05(075.8)  
ББК 35.710я73  
О-23

*Рекомендовано к изданию научно-методическим советом  
заочного факультета ГГТУ им. П. О. Сухого  
(протокол № 2 от 18.10.2005 г.)*

Авторы-составители: *Ю. Л. Бобарикин, А. Н. Швецов*  
Рецензент: канд. техн. наук, декан механико-технологического факультета  
ГГТУ им. П. О. Сухого *В. П. Русов*

О-23 **Обработка** давлением полимерных материалов : пособие по одной дисциплине для студентов специальности 1-36 01 05 «Машины и технология обработки материалов давлением» заоч. формы обучения / авт.-сост.: Ю. Л. Бобарикин, А. Н. Швецов. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2007. – 62 с.– Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Мб RAM ; свободное место на HDD 16 Мб ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://gsu.local/lib>. – Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-985-420-499-5.

Пособие содержит шесть разделов, в которых рассмотрены вопросы, касающиеся переработки полимерных материалов давлением, классификация полимеров, их основные и технологические свойства, организация производства изделий из полимеров и охрана окружающей среды. Для студентов специальности 1-36 01 05 «Машины и технология обработки материалов давлением» заочной формы обучения.

УДК 678.02/.05(075.8)  
ББК 35.710я73

ISBN 978-985-420-499-5

© Бобарикин Ю. Л., Швецов А. Н.,  
составление, 2007  
© Учреждение образования  
«Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого», 2007

## ВВЕДЕНИЕ

Полимерными соединениями, или полимерами, называют вещества, молекулы которых состоят из многочисленных элементарных атомных звеньев одинаковой структуры. Эти элементарные атомные звенья (молекулы) соединены между собой ковалентными связями в длинные цепи различного строения (линейные, разветвленные), которые образуют жесткие и пластичные пространственные решетки. Своеобразно построенные, гигантские по размерам молекул полимерные соединения обычно называют макромолекулами.

Полимеры бывают органические и неорганические. В дисциплине рассматриваются органические полимеры, далее определяемые как полимеры. Основная цепь макромолекул органических полимеров состоит из атомов углеводорода, иногда с чередованием атомов кислорода, серы, азота, фосфора. В макромолекулярную цепь могут быть введены атомы кремния, титана, алюминия и других элементов, не содержащихся в природных органических соединениях.

Полимеры весьма разнообразны по своему составу, по методам получения и свойствам. Это предопределило их быстрое внедрение в различные области техники, в такие как: строительство, машиностроение, легкая промышленность и производство тары и упаковки.

В настоящее время полимеры получают преимущественно из углеводородов нефтяного происхождения, которые находятся в природных газах, попутных нефтяных газах, а также в газах нефтепереработки.

Основоположниками получения полимеров являются: русский химик Александр Михайлович Бутлеров (1828–1886), а также Михаил Григорьевич Кучеров (1850–1911), который в 1881 г. провел реакцию гидратации ацетилена и получения альдегида – исходного вещества для производства полимеров.

# Раздел 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПЛАСТМАССАХ

## 1.1. Классификация полимеров

Все полимерные соединения в зависимости от происхождения подразделяются на *синтетические*, полученные путем синтеза из низкомолекулярных соединений, *природные*, выделенные из природных материалов и *искусственные*, полученные путем химической модификации природных полимеров. Природные полимеры, обладающие биологической активностью (белки, нуклеиновые кислоты), выделяют в отдельную группу биологических полимеров или биополимеров.

В основу классификаций полимеров положены характерные свойства веществ.

По составу основной цепи макромолекул полимерные соединения можно разделить на 3 группы:

1. *Карбоцепные полимерные соединения*, макромолекулярные цепи которых построены только из углеродных атомов: полиэтилен, полипропилен, полиизобутилен, полибутадиен.

2. *Гетероцепные полимерные соединения*, в макромолекулярных цепях которых, кроме атомов углерода, содержатся атомы кислорода, азота, серы, фосфора, т. е. атомы элементов, обычно входящих в состав органических соединений: целлюлоза, белки, полиэферы, полиуретаны, полиэпоксидные соединения.

3. *Элементоорганические полимерные соединения*, содержащие в основных цепях макромолекул атомы кремния, алюминия, никеля, германия и других, не входящие в состав природных органических соединений.

Полимерные соединения классифицируют также по структуре их макромолекул, которая может быть *линейной*, *разветвленной* и *пространственной*.

Макромолекулы линейной структуры (рис. 1.1, а) представляют собой совокупность мономерных звеньев, соединенных ковалентными связями в длинные цепи.

Если в основной цепи макромолекулы появляются боковые ответвления более короткие, чем основная цепь, но также состоящие из многократно повторяющихся мономерных звеньев, такие структуры называют разветвленными (рис. 1.1, б).

Цепи макромолекул в пространственных полимерах связаны между собой силами основных валентностей при помощи поперечных мостиков, образованных атомами. Даже при редком расположении

поперечных связей полимеры не способны растворяться в органических растворителях, они набухают в них. Подобные пространственные полимеры носят название *лестничных* (рис. 1.1, в). С увеличением частоты поперечных связей между цепями уменьшается набухание и пластичность полимеров. Такие полимеры называются *сетчатыми полимерами* (рис. 1.1, г).

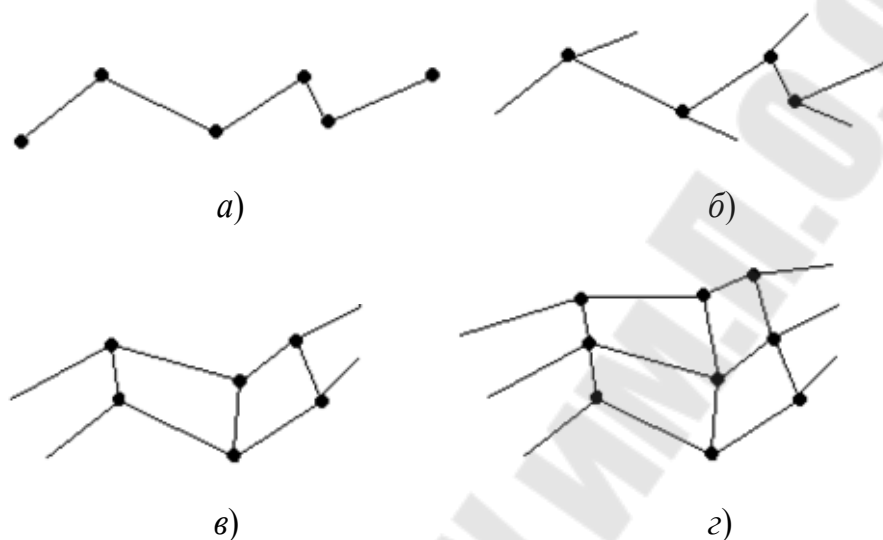


Рис. 1.1. Структура полимерных цепей

По методам синтеза полимеры делятся на 2 группы:

1. *Полимеризационные соединения*, получаемые реакцией полимеризации, происходящей в результате раскрытия кратных связей в ненасыщенных низкомолекулярных веществах или разрушения неустойчивых циклов и соединения их в макромолекулярные цепи. К этой группе относятся полимерные соединения, получаемые из этилена, производных этилена, диенов, ацетиленов, различных циклических органических соединений. В процессе полимеризации не выделяется каких-либо побочных продуктов – поэтому состав образующихся макромолекул полимера соответствует составу исходного низкомолекулярного вещества-мономера.

2. *Поликонденсационные соединения*, получаемые в результате реакций поликонденсации – процессов, сопровождающихся выделением низкомолекулярных побочных веществ. К таким реакциям относятся, например, процесс полиэтерификации, реакции образования полиамидов, поликарбамидных соединений.

По поведению полимеров при нагревании их разделяют на *термопластичные* и *терморезистивные*.

К термопластичным материалам относятся полимеры линейной или разветвленной структуры, свойства которых обратимо изменяются при многократном нагревании и охлаждении. Такие полимеры размягчаются при повышенной температуре и вновь отвердевают при охлаждении.

Пространственные полимеры не могут переходить в пластическое состояние при повышенной температуре. С этой точки зрения подобные полимеры можно рассматривать как термостабильные материалы.

Образование пространственных структур происходит с последовательным возрастанием молекулярного веса полимера. В процессе образования термостабильного полимера постепенно уменьшается его способность размягчаться, растворяться или набухать в каком-либо растворителе. Полимеры, образующиеся на этих промежуточных стадиях, носят название термореактивных полимеров. Их можно формовать в изделия, наносить в виде лака или клея на защищаемые или склеиваемые поверхности, а затем переводить полимер в термостабильное состояние.

## 1.2. Использование термомеханического анализа для оценки перерабатываемости полимеров

Первую информацию о полимерах можно получить из анализа термомеханической кривой. Зависимость деформации полимера от температуры позволяет установить области перехода его из одного физического состояния в другое. Так, при нагревании аморфного полимера на термомеханической кривой четко просматриваются три физических состояния: стеклообразное, высокоэластическое и вязкотекучее (рис. 1.2).

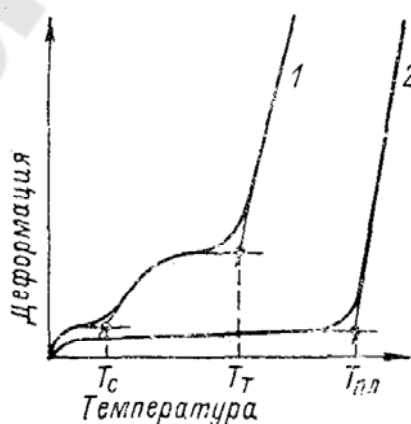


Рис. 1.2. Термомеханические кривые аморфного (1) и кристаллического (2) полимеров

При температуре ниже температуры стеклования ( $T_c$ ) аморфный полимер находится в твердом агрегатном состоянии, при этом часть сегментов макромолекул фиксирована в пространстве, а другая – обладает некоторой свободой перемещения. Под действием больших усилий наблюдается деформация, однако, деформация эта сравнительно невелика и зависимость ее от напряжения почти прямопропорциональная. Способность полимеров переходить в стеклообразное состояние позволяет достигать определенной конструкционной жесткости изделий и применять их при температурах ниже температуры ( $T_c$ ) стеклования в машинах и приборах.

В связи с этим температура стеклования является нижней границей, до которой целесообразно проводить охлаждение изделия после формования его в процессе переработки полимеров. Однако, если при извлечении изделий из форм выталкивающие усилия малы, охлаждение осуществляют до температуры несколько выше температуры стеклования, так как низкие напряжения и большая скорость нагружения исключают деформацию изделий.

При очень низких температурах в полимерах могут осуществляться только крутильные колебания отдельных звеньев, и полимер приобретает хрупкость. Температура хрупкости существенно влияет на нижнюю границу температурной области практического использования полимеров в качестве конструкционных материалов, особенно при динамическом нагружении изделий. Следует учитывать ее и при переработке полимеров. Так, эластичные изделия, охлажденные ниже температуры хрупкости, можно подвергать, например, обработке в галтовочных барабанах для снятия облоя после литья под давлением или прессования.

Необходимо отметить, что температура стеклования, а также плотность полимеров в стеклообразном состоянии в значительной мере зависят от скорости охлаждения расплава. Стеклообразование полимеров связывают с релаксацией сегментов макромолекул, содержащих от 5 до 20 атомов углерода. При высокой скорости охлаждения релаксационные процессы не завершаются и в стеклообразном состоянии образуется менее упорядоченная структура. Противоположная зависимость возникает при сжатии расплава в процессе его охлаждения. Стеклообразование под высоким давлением приводит к увеличению плотности полимеров. Полистирол, охлажденный под давлением 200 МПа имеет температуру стеклования примерно на 60 °С выше температуры размягчения. При снятии давления происходит уменьшение плот-

ности за счет упругого восстановления накопленной деформации; однако плотность таких образцов все же несколько выше, чем у полимеров, охлажденных без давления.

При температуре выше температуры стеклования, т. е. в высокоэластическом состоянии, молекулярная подвижность в полимерах становится настолько большой, что структура полимера в ближнем порядке успевает перестраиваться вслед за изменением температуры, а макромолекулы могут изгибаться под действием внешних сил. Общая деформация полимера в высокоэластическом состоянии складывается из мгновенной упругой и запаздывающей высокоэластической деформации. Высокоэластическое состояние используется при формовании изделий такими методами, как штампование, вакуумное формование и др. Если при температуре эксплуатации полимеры находятся в высокоэластическом состоянии, то из них можно изготавливать пленки, гибкие шланги, искусственную кожу.

Несколько иная картина наблюдается для кристаллизующихся полимеров (рис. 1.2). При охлаждении кристаллизующихся полимеров происходит образование структур за счет совместной укладки отрезков макромолекул, что затрудняет переход их из одной конформации в другую. Вследствие этого гибкость макромолекул в обычных условиях проявиться не может и высокоэластичность исчезает (рис. 1.2). Высокоэластичность возникает у этих полимеров только при температурах выше температуры плавления.

Основные физико-химические характеристики стеклообразного и высокоэластического состояний полимеров в значительной степени зависят от условий охлаждения расплава, поэтому последние необходимо учитывать при ведении технологического процесса переработки полимеров.

Не менее важную роль играет и вязкотекучее состояние, в которое полимеры переходят при нагревании до более высоких температур. В вязкотекучем состоянии у полимеров под действием внешних сил развиваются в основном необратимые деформации, т. е. появляется истинное течение, обусловленное движением звеньев макромолекул относительно друг друга.

Зависимость вязкости полимеров от молекулярной массы предопределяет их технологическое поведение и диапазон параметров процесса переработки (температура, давление и т. д.). По мере увеличения молекулярной массы затрудняется развитие необратимых деформаций, необходимых для формования, увеличивается склонность



к накоплению высокоэластической деформации в готовых изделиях, изменяются механические свойства полимеров. Поэтому появляется необходимость в изменении технологических параметров процесса переработки, выборе соответствующего метода формования и технологической оснастки. Например, маловязкие полимеры используют для нанесения покрытий на бумагу и для формования волокон, а по мере увеличения молекулярной массы оптимальными методами переработки становятся литье под давлением, затем экструзия и прессование. В тех случаях, когда молекулярная масса очень велика и температура переработки становится выше температуры разложения (термодеструкции) полимера, вязкость понижают путем введения пластификаторов или растворителей.

Переход аморфных полимеров в вязкотекучее состояние происходит при температуре, близкой к температуре текучести, а кристаллических – выше их температуры плавления. К параметрам, определяющим температурную область вязкотекучего состояния, относятся не только скорость охлаждения, но и гидростатическое давление, которое в значительной степени влияет на температуру плавления полимеров. Переход полимеров в вязкотекучее состояние происходит в достаточно широком интервале температур и зависит от внутренних напряжений, возникающих в структурах, а также от неоднородности структур, их видов и размеров.

Определение температуры текучести или плавления необходимо, чтобы установить минимальную температуру переработки полимеров, и тем самым уменьшить развитие необратимых деформаций при формовании изделий из пластмасс. Однако при этом необходимо уточнение температуры переработки в зависимости от результатов реологических исследований и данных дифференциального термического анализа.

Как видно из рассмотренного, каждому физическому состоянию полимера соответствует определенный комплекс физических свойств, знание которых позволяет установить условия переработки и эксплуатации изделий из пластмасс.

### **1.3. Основные свойства пластмасс**

Пластмассы обладают целым рядом физических и химических свойств, предопределяющих целесообразность их применения в различных отраслях народного хозяйства. Они обладают малой плотностью от 0,9 до 2,2 г/см<sup>3</sup>, в среднем пластмассы в 2 раза легче алюминия, в 5–7 раз

легче стали, меди, свинца, бронзы и т. д. Особый класс представляет собой пенно- и поропласты с очень малой плотностью ( $0,02-0,1 \text{ г/см}^3$ ) и малой теплопроводностью [ $(1,5-0,5) \cdot 10^{-4} \text{ ккал/(с}\cdot\text{град.)}$ ].

Прочностные показатели (при разрыве, сжатии, ударе) у большинства пластмасс ниже, чем у металлов. Но при сопоставлении прочности материалов с учетом их плотности у некоторых пластмасс условный показатель прочности (отношение предела прочности к плотности) оказывается лучше, чем у лучших марок стали (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Материал	Плотность, $\text{кг/см}^3$	Предел прочности при разрыве, $\text{кг}\cdot\text{с/см}^3$	Условная прочность
Сталь лучших сортов	7,8	12880	1600
Стеклопластики	1,8	3000–7000	1700–4000
Древесно-слоистые пластики	1,4	3500	2500

Многие виды пластмасс обладают высокими электроизоляционными свойствами и являются незаменимыми материалами для изоляции машин, аппаратов и проводов в электро- и радиотехнике, а также в высокочастотных устройствах радиосвязи, телевидения, генераторах токов высокой частоты.

Основные виды пластмасс, в отличие от металлов, противостоят не только атмосферной коррозии, но и воздействию различных кислот, щелочей, солей, растворителей, тропическому климату и радиационному излучению.

Некоторые пластмассы по праву носят название органических стекол (полиметилметакрилат, полистирол, поликарбонат). Они бесцветны, прозрачны, способны пропускать лучи света с широким диапазоном волн, в том числе и ультрафиолетовые, и значительно превосходят в этом отношении силикатные стекла. Например, полиметилметакрилатное органическое стекло пропускает приблизительно 73 % ультрафиолетовых лучей, а силикатное – всего 1–3 %. Эти пластмассы незаменимы в оптической промышленности и машиностроении, где необходимы прозрачные детали. Все пластмассы легко окрашиваются в любые цвета. Детали из окрашенных пластмасс не нуждаются в поверхностной окраске и лакировке.

Очень ценна способность пластмасс (особенно газонаполненных) поглощать и гасить вибрации, а также выносить многократные знакопеременные нагрузки (на сжатие и растяжение). Некоторые пластмассы обладают высокими звукоизоляционными свойствами.

Пластмассы могут применяться как уплотнительные и герметизирующие материалы.

Высокие адгезионные (клеящие) свойства ряда полимеров позволяют использовать их для изготовления клеев, лакокрасочных покрытий, заливочных масс и замазок.

Наиболее распространенные пластмассы могут удовлетворительно работать лишь в сравнительно небольшом интервале температур: термопласты от  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$ , реактопласты до  $+120\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Рабочие температуры пластмасс на основе кремнийорганических полимеров и фторопластов гораздо выше ( $200\text{ }^{\circ}\text{C}$  и выше).

*Теплопроводность.* Теплопроводность пластмасс в 500–600 раз ниже теплопроводности металлов, что вызывает значительные трудности при их применении в узлах и деталях машин, где необходим быстрый отвод тепла. Поэтому иногда прибегают к применению теплопроводящих наполнителей (графит, металлический порошок и др.).

*Механическая прочность.* У самых жестких пластмасс (стеклопластиков) в 1,2–1,5 раза меньше, чем у металлов.

*Ползучесть.* У пластмасс, особенно термопластов, ползучесть выражена гораздо сильнее, чем у металлов, что необходимо учитывать при конструировании деталей. Ползучестью называют свойства материала медленно деформироваться при постоянных механических нагрузках меньше разрушающих. Это можно наблюдать, если к образцу из линейного полимера в виде стержня (или полоски, вырезанной из пленки или листа) подвесить груз. Стержень постепенно растягивается. При снятии нагрузки стержень частично сокращается, но не до первоначальной длины. Это объясняется тем, что вследствие упругости скрученных молекул происходит обратная деформация, а за счет перемещения молекул полимера – необратимая; в целом же для линейного полимера характерна частично обратимая деформация. У полимера пространственной структуры перемещение молекул не наблюдается, потому его деформация обратима.

Переработка термопластичных полимерных материалов в изделия основана на необратимых, пластических деформациях, которые достигаются с помощью соответствующего оборудования и технологического режима. Сам термин «термопласты» показывает, что эта категория материалов становится доступной пластическим деформациям в расплавленном состоянии.

*Старение.* Пластмассы изменяют свои свойства под действием нагрузки, тепла, влаги, света, воды, при длительном пребывании в ат-

мосферных условиях, искусственного облучения ультрафиолетовыми и  $\gamma$ -лучами агрессивных сред и других факторов.

*Фрикционные и антифрикционные свойства.* Эти свойства пластмасс отличаются по основному показателю – коэффициенту трения. У фрикционных пластмасс (фенопластов с асбестовым наполнителем и др.) коэффициент трения 0,3–0,8, при этом износ трущихся пластмасс незначителен. У антифрикционных пластмасс (фторопластов, полиамидов, полиформальдегида и др.) коэффициент трения 0,14 без смазки и 0,01 при смазке маслом или водой.

Износоустойчивость пластмасс в подшипниках скольжения в паре со сталью без смазки при окружных скоростях, не превышающих 2 м/с, и давлении до 50 кг·с/см<sup>2</sup> выше, чем у антифрикционных бронз и баббитов в тех же условиях. Так, износоустойчивость фторопласта-4 в 40 раз выше, чем баббита. Износоустойчивость капрона, наполненного графитом, в 160 раз выше, чем у бронзы, и в 40 раз выше, чем у баббита. При больших скоростях, вызывающих разогрев материала, и неудовлетворительном отводе тепла из-за малой теплопроводности пластмасс износоустойчивость уменьшается. Некоторые пластмассы имеют большой коэффициент трения и применяются в тормозных устройствах.

## Раздел 2. СОСТАВ ПЛАСТИЧЕСКИХ МАСС

Основной частью пластмассы являются природные или синтетические высокомолекулярные соединения, связывающие в единое целое другие составные части пластмассы и придающие материалу определенные свойства. Таким образом, они являются полимерными связующими. Кроме связующего в состав пластмассы входят следующие компоненты: пластификаторы, наполнители, стабилизаторы, отвердители, красители, смазывающие вещества. Каждый из компонентов выполняет свою специфическую функцию.

### 2.1. Пластификаторы

Пластификаторы вводятся в полимеры с целью придания им (или повышения) эластичности и пластичности при переработке или эксплуатации. Такая физическая модификация полимера облегчает формование изделий, увеличивает их морозостойкость, уменьшает значение модуля эластичности. Введение в композицию пластификаторов облегчает смешение полимера с другими ингредиентами и снижает температуру переработки пластических масс. В некоторых случаях пластификаторы придают такие свойства, как негорючесть, повышенная термо- и светостойкость.

Пластификаторами могут служить как низкомолекулярные, так и высокомолекулярные соединения различной природы. К ним предъявляются следующие основные требования:

1. Способность совмещаться с полимером с образованием системы, обладающей эксплуатационной устойчивостью.
2. Низкая летучесть.
3. Бесцветность.
4. Отсутствие запаха.
5. Сохранение пластифицирующего действия при самых низких температурах эксплуатации.
6. Химическая стойкость не меньше, чем у полимерных компонентов.

К числу важнейших пластификаторов относятся эфиры ароматических и алифатических карбоновых кислот, фосфорной кислоты, эпоксицированные соединения, полиэфиры, эфиры гликолей и поликарбоновых кислот.

К эфирам ароматических кислот, используемых в качестве промышленных пластификаторов, принадлежат в первую очередь эфиры фталевой кислоты и алифатических кислот.

Одним из наиболее распространенных пластификаторов этого типа является дибутилфталат, дифталат, диэтилфталат, диметилфталат. Эти пластификаторы применяются для пластификации поливинилхлорида, этилцеллюлозы, ацетобутирата и нитрата целлюлозы. Они дают эксплуатационно устойчивые композиции, легко вводятся в композиции, обладают высокой тепло- и светостойкостью, и сравнительно дешевы.

Для производства масло- и бензостойких полимерных материалов применяется пластификатор бензилбутилфталат, дифталат, кроме того они допущены органами Минздрава для использования в пластических массах, соприкасающихся с продуктами питания.

Для получения электроизоляционных материалов, эксплуатируемых при повышенных температурах, используются эфиры тримеллитовой и приромеллитовой кислот.

Из числа эфиров алифатических кислот, используемых в качестве пластификаторов, применяют адипинаты, себацинаты, азелаинаты, стеараты и олеаты.

Наиболее распространенными являются дибутилабацинат и диазелаинат, придающие композициям морозостойкость. Адипинаты менее распространены вследствие их летучести. Себацинаты относительно дороги.

## 2.2. Наполнители

Многие свойства пластических масс могут быть существенно улучшены при введении в них различных наполнителей.

Наполнителями могут быть твердые, жидкие или газообразные вещества неорганической и органической природы, которые относительно равномерно распределяются в объеме образующейся композиции и имеют четко выраженную границу раздела с непрерывной полимерной фазой. Часто при введении наполнителей пластмассы становятся прочней, меньше деформируются и подвергаются усадке. В ряде случаев наполнители практически не улучшают эксплуатационных характеристик пластмасс, но, являясь более дешевой и более доступной частью пластмасс, снижают их стоимость. Содержание наполнителей в пластмассах как правило составляет 15–50 %. Однако существуют высоконаполненные композиции, в которых наполнители

в несколько раз превышают содержание самого полимера. Размер частиц наполнителя составляет 1–15 мкм и не превышает 40 мкм.

Наиболее распространены твердые наполнители, которые можно разделить на порошкообразные и волокнистые.

Основными требованиями, предъявляемыми к наполнителям, являются следующие:

- 1) способность смешиваться с полимером с образованием системы заданной степени однородности;
- 2) способность смачиваться расплавом или раствором полимера;
- 3) стабильность свойств при хранении, переработке и эксплуатации пластмасс;
- 4) доступность и дешевизна;
- 5) низкая абразивность.

К наиболее распространенным органическим порошкообразным наполнителям относятся древесная мука, технический углерод, графит, лигнин. В некоторых случаях используются тонкодисперсные порошкообразные наполнители из различных пластмасс (например, ПТРЭ, который снижает коэффициент трения).

Древесную муку широко используют как наполнитель фенольных и мочевиноформальдегидных пресс-материалов. Лигнин применяют в качестве активного наполнителя для композиций на основе полиолефинов.

Из неорганических минеральных порошкообразных наполнителей наибольшее распространение получили мел, каолин, тальк, слюда, диоксид титана, никель.

Мел используют в качестве наполнителя полиэтилена и поливинилхлорида. Тальк и слюда входят как в термопласты, так и в реактопласты. Полиолефины, поливинилхлорид, полиамиды, полиуретаны, эпоксидные и фенольные смолы можно наполнять также песком, кварцем, диатомитом, асбестом, бетонитом, пемзой и др. В качестве кремнесодержащих наполнителей, используют порошкообразный  $\text{SiO}_2$ , а также силикаты Al, Ca, Mg.

С целью придания пластмассам повышенной теплостойкости и химической стойкости в них вводят порошки фторидов и сульфатов Ba и Ca, а для понижения коэффициента трения – порошок дисульфида молибдена.

Из органических волокнистых материалов в качестве наполнителя наиболее широко используют хлопок. Он является основным наполнителем карбамидных пресс-материалов. Широкое использование

хлопка в качестве наполнителя обусловлено его физико-механическими и физико-химическими свойствами. Однако они ухудшаются при контакте с водой.

Из природных волокон также применяют в качестве наполнителя джут, сизаль, лен и т. д.

Все большее распространение находят синтетические волокна: полиамидные, полиэфирные, полиакрилонитрильные, придающие пластмассам высокое сопротивление износу, водо- и химстойкость, а также низкий коэффициент трения.

### **2.3. Стабилизаторы**

Стабилизаторами называют вещества, используемые в качестве компонентов полимерных композиций для повышения устойчивости к действию различных факторов (тепла, радиации, кислорода и др.) в условиях переработки, хранения и эксплуатации изделия.

Они делятся на антиоксиданты, антиозонанты, антирады и светостабилизаторы.

Антиоксидантами и антиозонантами называют вещества, повышающие устойчивость полимеров к действию кислорода и атмосферного озона.

Вещества, повышающие стойкость полимерных композиций к воздействию ионизирующих излучений, называют антирадами.

Скорость старения полимера под действием солнечного света существенно снижается при введении светостабилизатора.

Основная причина старения полимерных материалов состоит в их окислении молекулярным кислородом. Окисление полимеров ускоряется при повышении температуры в процессе переработки, а также при воздействии видимого и ультрафиолетового света. Старение проявляется в деструкции или структурообразовании. Деструкция сопровождается уменьшением молекулярной массы, что позволяет количественно оценить этот процесс. Термическая деструкция обычно является цепной реакцией. Ее можно замедлить путем добавления в композицию стабилизаторов.

Термоокислительная деструкция протекает уже при 140–170 °С. При окислении полимера образуются неустойчивые высокомолекулярные гидропероксиды, которые распадаются на радикалы, инициирующие дальнейший рост цепи. Вначале поглощение кислорода происходит медленно, а затем постепенно ускоряется. Время, в течение которого поглощение кислорода очень мало, называют периодом ин-



дукции. С повышением температуры и давления кислорода период индукции сокращается.

Вследствие интенсивного протекания реакций окисления перерабатывать многие полимеры без предварительной стабилизации невозможно.

## **2.4. Сшивающие агенты**

Сшивающие агенты используют в полимерных композициях с целью сшивания линейных макромолекул на определенной стадии переработки в единую трехмерную сетку. В связи с этим сшивающие агенты называют также отвердителями, а процесс превращения полимера из линейного в трехмерную сетку – отверждение.

Применяя различные отвердители можно существенно варьировать свойства сшитых полимеров. Например, использование для отверждения эпоксидных олигомеров различных отвердителей позволяет получать полимерные материалы, отличающиеся по температуре стеклования, модулю упругости, прочности, релаксационным свойствам.

По характеру действия отвердители подразделяют на собственно отвердители и на инициаторы и катализаторы отверждения.

Собственно отвердителями называют вещества, молекулы которых реагируют с функциональными группами олигомеров или полимеров. Эти вещества входят в состав образующегося трехмерного полимера. Обычно в качестве отвердителей используют полифункциональные, низкомолекулярные и олигомерные вещества.

Инициаторами отверждения называют вещества, распадающиеся при определенных условиях с образованием свободных радикалов, участвующих в сшивании линейных макромолекул.

Катализаторами отверждения называют вещества, не участвующие в образовании трехмерной сетчатой структуры, но ускоряющие протекание реакций, приводящих к сшиванию.

## **2.5. Смазывающие вещества и красители**

Смазывающие вещества добавляют в пресскомпозицию в количестве 1–2 % для увеличения подвижности молекул полимеров при литье под давлением, для лучшего распределения и прилипания порошковых красящих веществ при нанесении их на гранулированные термопластичные материалы, а также для уменьшения трения материала при заполнении прессформ и уменьшения прилипания материала к прессформе.

В качестве смазывающих веществ применяются олеиновая и стеариновая кислоты.

Красители придают материалу определенную окраску. Их выбор зависит от вида пластической массы и характера химико-физических воздействий на нее в процессе переработки и эксплуатации. Красители не должны изменять свой цвет при температурах, применяемых при переработке пластмасс в изделия, мигрировать (выпотевать) из изделия. Они должны обладать определенной дисперсностью, светопрочностью, безвредностью.

Для крашения полимеров применяют как неорганические пигменты, такие как окиси кадмия, хрома, цинка, титана, свинца, так и жаростойкие органические пигменты и лаки (фталоцианиновые, антрахиноновые и др.). Также часто окраску производят нерастворимыми в воде пигментами, которыми могут быть синтетические красители или соли поливаемых металлов.

## **Раздел 3. ПОДГОТОВКА ПОЛИМЕРОВ К ПЕРЕРАБОТКЕ**

### **3.1. Принципы выбора полимеров для изготовления изделий**

Каждое изделие из пластмассы имеет свое назначение и рассчитано на работу в определенных условиях.

Разработка конструкции любого изделия из пластмассы начинается с выбора марки материала для его изготовления. Материал выбирают, тщательно рассматривая те показатели пластиков, которые определяют возможность работы изделия в заданных условиях. Например, при изготовлении из пластмассы вентиля для бака с соляной кислотой решающим показателем материала является стойкость его к действию соляной кислоты. Затем из нескольких видов пластиков окончательно выбирают один, учитывая другие показатели (прочность к ударным нагрузкам, прочность при растяжении, твердость и т. п.). При этом принимают во внимание стойкость этого пластика к постепенному изменению его свойств в процессе эксплуатации (так называемую стойкость к старению), конструкцию изделия и рациональную технологию изготовления. Правильно сконструированное изделие должно изготавливаться по наиболее простой технологии и из наименьшего количества пластмассы.

Основные положения, касающиеся выбора марки полимера для изготовления определенного изделия, сводятся к следующему:

1. При выборе пластмассы следует исходить из назначения изделия и условий его эксплуатации.

2. Изготовление высококачественного изделия возможно лишь при учете характерных для пластмасс свойств, зависящих от условий эксплуатации и методов переработки.

3. При выборе пластмасс необходимо стремиться к наиболее полному использованию их ресурсов. При этом изделие должно удовлетворять своему назначению, а его изготовление должно быть экономически более целесообразным, чем изготовление их других материалов.

При конструктивной разработке изделия руководствуются следующими правилами:

1. Толщина сечений во всех частях изделия должна быть по возможности одинаковой, т. к. равностенные изделия меньше подвержены короблению и растрескиванию.

2. Углы и грани изделия должны быть закруглены, а форма его возможно более обтекаемой. Благодаря чему увеличивается механическая прочность изделия, т. к. наружные острые углы легко подвергаются сколам, а острые углы на наружных и внутренних гранях являются причиной образования трещин в результате сосредоточения здесь больших усадочных напряжений, возникающих при охлаждении изделия.

Прочность изделия необходимо повышать ребрами жесткости, а не толщиной стенок. Это снижает расход материала, а также время выдержки в пресс-форме.

Для уменьшения коробления необходимо вводить ребра жесткости или заменять большие плоскости поверхности сферическими.

Конструкция изделия должна быть по возможности простой. Для этого в некоторых случаях целесообразно сложное изделие разбить на несколько простых, а затем их склеить или соединить резьбой.

### **3.2. Технологические свойства пластмасс**

После определения состава композиции проводят анализ технологических свойств полимера.

#### *Технологические свойства реактопластов*

К ним относятся: текучесть, усадка, скорость отверждения, влажность и содержание летучих веществ.

*Текучесть* – способность материалов заполнять форму при определенной температуре, удельном давлении и времени, характеризующие конкретные условия процесса. Она зависит от вида и содержания в пресс-материале смолы, наполнителя, пластификаторов, смазки, а также от конструкции пресс-формы и литьевого цикла. Текучесть играет важную роль в процессе переработки материала и влияет на выбор режима переработки (температуру, давление). Слишком высокая текучесть ведет к перерасходу сырья и, наоборот, слишком малая – препятствует полному заполнению пресс-формы, требует предварительного подогрева пресс-материала и увеличения удельного давления. Существует много методов определения текучести, которые можно разделить на две группы. К первой группе относятся методы прессования пробных образцов, ко второй – методы, основанные на определении массы и коэффициента вязкости, определяемые на пластомере.

*Усадка* – является одной из важнейших технологических и эксплуатационных характеристик материала. Под усадкой понимают абсолютное или относительное уменьшение размеров изделия по сравнению с размером полости пресс-формы. Величина усадки зависит от физико-химических свойств, количества и природы наполнителя, от свойств связывающей смолы, температурного режима переработки, температуры формы, содержания влаги и летучих веществ в пресс-материале и других факторов.

В абсолютной величине усадки наибольшую долю составляет разница между коэффициентами местного расширения материалов пресс-формы и материала пластмассовых деталей. Усадка деталей тем больше, чем значительнее тепловое расширение материала. Она зависит от температуры формы: чем ниже температура формы, тем меньше усадка, и наоборот. После извлечения детали из формы продолжается ее свободная усадка. Она определяется разницей между температурой, при которой изделие извлекается из формы, и температурой окружающей среды.

Усадка также зависит от содержания влаги в пресс-материале. Она повышается при увеличении влажности. Предварительный подогрев пресс-материала в термошкафах или токами высокой частоты (т. в. ч.) заметно уменьшает усадку. Величина усадки увеличивается и с увеличением текучести пресс-материала. На ее величину оказывают влияние толщина и конфигурация изделия, время выдержки и ряд других факторов, трудно поддающихся учету. Различают действительную и расчетную литейные усадки.

Действительная усадка ( $Y_d$ ) – это усадка пресс-материала, выраженная как процентное отношение разности между размерами пресс-формы ( $d_2$ ) при температуре прессования ( $t_2$ ) и размерами ( $d_1$ ) изделия при комнатной температуре ( $t_1$ ):

$$Y_d = \frac{d_2 - d_1}{d_1} 100 = \left( \frac{d_2}{d_1} - 1 \right) 100 \%$$

Расчетную усадку ( $Y_p$ ) определяют путем сравнения размера отпрессованного диска ( $d_1$ ) с размерами оформляющей полости пресс-формы ( $d$ ) при температуре ( $t_1$ ):

$$Y_p = \frac{d - d_1}{d} 100 = \left( 1 - \frac{d_1}{d} \right) 100 \%$$

Следует отличать технологическую усадку от эксплуатационной, наблюдаемой при эксплуатации и хранении. Технологическая усадка связана зависимостью объема детали от давления и температуры. Эксплуатационная усадка связана главным образом с внутренними напряжениями в материале, развивающимися под действием теплоты, света, влаги и т. д.

Прочностные свойства изделия из реактопластов и продолжительность изготовления изделий тесно связаны с процессом отверждения и зависят от таких свойств реактопласта, как скорость и степень отверждения. Скорость отверждения зависит в основном от температуры переработки материала и рецептуры композиции.

Скорость и степень отверждения реактопластов определяют пластометрическими методами по изменению напряжения сдвига в отверждающемся материале во времени или химическими методами.

Для каждого материала существуют свои оптимальная и минимальная степень отверждения. Минимальная степень отверждения обеспечивает получение максимальной величины какого-либо показателя для достижения наилучшего сочетания наиболее важных свойств. Минимальная степень отверждения позволяет получить просто готовое изделие, что определяется по внешнему виду.

Повышенное содержание летучих веществ и влаги в полимере ухудшает качество готовых изделий и увеличивает время выдержки. Пониженная влажность обычно приводит к снижению текучести материала. Допустимое содержание влаги в пресс-материалах – 4 %.

#### *Технологические свойства термопластов*

Здесь показателем текучести расплавов является «индекс расплава» – количество материала, выдавливаемого через специальные сопла экструзионного пластомера ( $\varnothing 2,095 \pm 0,005$  мм) при определенных температуре и давлении в единицу времени (г/мин). Показатель текучести расплава влияет на выбор оптимального режима переработки материала (температура, давление, скорость экструдирования и др.) и номенклатуру изготавливаемых изделий.

Изделие из термопластов, полученные литьем под давлением характеризуются анизотропией усадки. Она зависит от степени ориентации макромолекул. Усадка изделий из термопластов определяется уменьшением объема расплава во время охлаждения его в форме

после впрыска. Она происходит в три стадии: I и II стадии – от момента заполнения литевой формы до удаления изделия, а III стадия – после удаления из формы при охлаждении до температуры окружающей среды.

Усадка уменьшается с понижением температуры расплава и увеличением давления на материал в процессе литья. Усадка литевых изделий зависит от времени, в течение которого передается в форму.

Важным свойством термопласта является также *термостабильность* – это время, в течение которого полимер выдерживает данную температуру без разложения. Термостабильность таких полимеров, как полистерол, полиэтилен, полипропилен, достаточно велика по времени (более 20 мин), поэтому их переработка не представляет никаких трудностей, но некоторые полимеры (полиформальдегид, поливинилхлорид) имеют очень низкую термостабильность (3–5 мин) и могут разлагаться при нагревании в процессе переработки. Поэтому необходимо в таких случаях принимать меры, с помощью которых время пребывания полимера при повышенных температурах сокращается (изменяют конструкцию материального цилиндра, мундштука, поршня и т. д.).

Качество пластмасс зависит от режима их переработки: термопласты – от удельного давления, температуры расплава в обогреваемом цилиндре, температурного режима формы и продолжительности цикла; реактопласты – от удельного давления, температуры и времени выдержки.

На практике пользуются величинами удельного давления переработки. *Удельное давление литья* – усилие, которое передается на  $1 \text{ см}^2$  расплавленной массы, подготовленной к впрыску.

Для реактопластов важной характеристикой является *температура размягчения* – это температура перехода материала в пластично-вязкое состояние до начала процесса отверждения. *Температуру размягчения* необходимо знать при выборе режимов пластификации материалов, т. к. она зависит от типа смолы, состава композиции и режимов изготовления пресс-материалов.

### 3.3. Методы переработки и наиболее характерные изделия из важнейших термопластов и реактопластов

Таблица 3.1

<b>Термопласты</b>		
<b>Полимер</b>	<b>Методы переработки</b>	<b>Типовые изделия</b>
Полиэтилен высокой плотности	Экструзия, литье под давлением, пневмоформование, прессование, газоплазменное напыление	Трубы, листы, профили, блоки, плиты, изоляция кабелей, детали технического назначения, защитные покрытия
Полиэтилен низкой плотности	Экструзия, литье под давлением, экструзия с последующим раздувом	Трубы, блоки, листы, пленки, изоляция силовых проводов и кабелей, покрытия тканей, бумаги, тара
Полипропилен	Экструзия, литье под давлением, пневмоформование	Детали для текстильного машиностроения, узлы вентиляционных систем, стиральных машин, волокна, пленки, термоусадочная пленка, канатно-веревочные изделия
Поливинилхлорид	Вальцевание, экструзия, прессование	Детали технического и бытового назначения, электроизоляционные детали, детали химического оборудования, муфты, линолеум, искусственная кожа
Полистирол	Литье под давлением, прессование, экструзия	Двери и внутренние части холодильников, телевизоров, детали внутренней отделки самолетов
Полиэтилен терефталат	Экструзия с последующей двухосной вытяжкой	Пленки различных видов
Гидратцеллюлоза	Полив на бесконечную ленту	Упаковочный материал для пищевых продуктов
<b>Реактопласты</b>		
Фенолоформальдегидная смола	Прессование, литьевое прессование, литье под давлением	Малонагруженные армированные и неармированные детали общего и технического назначения, работающие при температурах $-60+60^{\circ}\text{C}$ , конструкционные и электроизоляционные детали с повышенной механической прочностью и влагостойкостью
Меламиноформальдегидные смолы	Прессование, литьевое прессование, литье под давлением	Детали приборов зажигания, электротехнические изделия, посуда для горячей пищи, детали вентиляционного оборудования
Эпоксидная смола	Прессование	Радиодетали с повышенной механической прочностью, запрессовки теплостойких конденсаторов, конструкционные и электроизоляционные детали, покрытия
Полиорганосилоксаны	Прессование, литьевое прессование	Детали радиотехнического и электротехнического назначения, эксплуатируемые при повышенных температурах
Полиамиды	Полив, экструзия, экструзия с последующей вытяжкой	Химически стойкие эластичные емкости, облицовочный и упаковочный материал, масло- и бензостойкие прокладки



Термопласты		
Полимер	Методы переработки	Типовые изделия
Поликарбонаты	Литье под давлением, выдувание, прессование	Формованные детали, листы, пленки, волокна
Полиуретаны	Литье под давлением, экструзия, заливка и пропитка	Покрытия, герметики, заливка узлов аппаратуры и высоковольтных трансформаторов, амортизационные материалы
Полиметилметакрилат	Экструзия, формование с помощью матриц и пуансонов	Остекление воздушного, наземного и водного транспорта, приборов и агрегатов
Ненасыщенные полиэфирсы	Заливка, прессование, пропитка	Пресс-материалы на основе стекловолокна, светопропускающие стеклопластики, заливочные и пропиточные композиции

### 3.4. Подготовка полимерных композиций к переработке

После определения состава композиции и технологических свойств приступают к подготовке сырья и смешиванию.

Подготовка пресс-материалов к переработке состоит из операций, ускоряющих и облегчающих технологический процесс, улучшающих качество и внешний вид изделий, а именно: подсушка или увлажнение, просев, окрашивание, грануляция, таблетирование и предварительный подогрев. К ним можно отнести также дробление отходов, которые после измельчения вновь направляют на смешение.

Перечисленные операции не являются общепринятыми для всех видов и марок пресс-материалов.

Методы предварительной подготовки полимеров к переработке используются для улучшения технологических свойств перерабатываемого сырья, а также для получения полуфабрикатов и заготовок (гранул, таблеток, листов), применяемых в качестве исходных материалов в основных методах переработки.

*Смешение* – один из важнейших методов приготовления полимерных композиций, служащих для получения смеси из основного полимера и различных компонентов и существенно улучшающих свойства материала и изделий из него. При этом полученная смесь должна быть однородной по физическим и химическим свойствам и должна обладать равномерным распределением компонентов по всему объему смеси.

Независимо от того, в каком состоянии находятся составные части смеси (жидкость, порошок, пластическое тело), основной задачей перемешивания–гомогенизации является снижение до заданного минимума градиента концентрации. В некоторых случаях это сопровождается снижением температурного градиента, когда процесс перемешивания сопровождается тепловыми явлениями. Минимальный градиент концентрации (температуры) будет, очевидно, в том случае, когда в результате перемешивания бесконечно малые пробы смеси, отобранные в любом месте перемешиваемой системы, будут иметь одинаковый состав. В некоторых случаях процессы смешения сопровождаются дисперсированием, т. е. явлением, при котором происходит изменение физических характеристик компонентов (введение твердого наполнителя в массу смолы, уменьшение размеров частиц наполнителя, растворение красителей и т. д.) кроме того, механическое смешение может сопровождаться физико-химическими процессами пластификации.

Способы перемешивания и конструкции красительных машин зависят от физического состояния перемешиваемых компонентов.

По технологическому назначению смесители разделяются на машины для перемешивания жидких систем, твердых сыпучих материалов, пластических масс и резиновых смесей.

*Вальцевание* – процесс механической и тепловой обработки полимерных материалов с целью повышения их пластичности и однородности или перевода их в состояние, облегчающее дальнейшую переработку (подогрев, пластикация).

*Таблетирование* – процесс подготовки материала для дальнейшей переработки методом прессования. При этом получают стабильные по массе прочные таблетки заданной формы. Применение таблетированного сырья повышает точность дозировки, сокращает потери сырья, время предварительного подогрева и цикла прессования, улучшает условия труда. В процессе таблетирования из пресс-материала удаляется воздух, в результате чего повышается его теплопроводность, что ускоряет разогрев таблетки и уменьшает выдержку под давлением. Кроме того, применение таблетированного материала позволяет уменьшить размер загрузочной камеры пресс-формы. Порошкообразные пресс-материалы таблетуют на таблеточных машинах, а волокнистые в пресс-формах на гидравлических или механических прессах.

*Сушка и предварительный подогрев материалов.* Проводится для повышения их сыпучести и удаления из них лишней влаги и летучих веществ. Использование высушенного и предварительно подогретого полимерного сырья позволяет получить изделие с высокими физико-механическими показателями и хорошим качеством поверхности.

*Гранулирование.* Применяется для получения из расплава полимера гранулированного материала, наиболее удобного для переработки. Гранулят – это сыпучий материал, состоящий из однородных по размеру и форме частиц. Использование гранул стабилизирует режим работы перерабатывающего оборудования, облегчает дозировку сырья, повышает производительность машин и качество готовых изделий; улучшает условия труда. Гранулирование часто совмещают с процессами пластификации, стабилизации, наполнения, окрашивания.

*Окрашивание.* Пресскрошка, прессмасса, волокниты и слоистые пресс-материалы окрашиваются в процессе изготовления. Краситель в этом случае вводится в жидкую часть сырой пресс-композиции в виде хорошо просушенного мелкодисперсного порошка или в виде пасты, с последующим тщательным перемешиванием.

*Растворение.* Растворение пластмасс в различного рода жидкостях предпринимают с целью облегчения процесса формования полуфабрикатов и изделий. Растворимость – способность двух и более веществ самопроизвольно образовывать однородные смеси молекулярной или коллоидной дисперсности. Из растворов пластмасс получают пленки, покрытия, клеи, пены. В производстве массовых изделий растворы пластмасс не используют.

*Измельчение.* Проводится для получения точнодисперсных порошков. Помимо процесса измельчения точнодисперсные порошки можно получать в процессе синтеза полимеров и в процессе полимеризации. Еще одним способом получения порошков полимеров является распыление расплавов.

В промышленности наиболее распространен способ высаждения из раствора. Так, в частности, получают порошки поликапромида (из раствора соляной кислоты) и других полиамидов (из раствора в мономере).

## **Раздел 4. МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛИМЕРОВ ДАВЛЕНИЕМ**

Процесс переработки – это не столько придание полимеру конкретной формы изделия, но и создание определенной структуры материала. Поведение полимера при переработке определяется целым рядом свойств, на основе которой выбираются параметры переработки. Эти свойства связаны с физическим состоянием полимера – стеклообразным, высокоэластичным, вязкотекучим. В процессе переработки полимер последовательно находится в каждом из них и поэтому знание закономерностей перехода из одного состояния в другое и структурных особенностей полимера необходимо для управления процессом переработки.

### **4.1. Экструзия. Сущность метода. Применяемое оборудование**

*Экструзия* – непрерывный технологический процесс получения изделий или полуфабрикатов требуемой формы путем продавливания расплава полимерного материала через профилирующее отверстие (фильеру).

Экструзию применяют для промышленной переработки термопластичных материалов в пленки, листы, трубы, различные профильно-погонажные изделия, кабели, а также для нанесения покрытий на бумагу, фольгу.

Основным оборудованием для переработки пластмасс методом экструзии служат одно- и двухчервячные экструдеры, дисковые, комбинированные каскадного типа и червячные осцилирующие смесители, применяемые при пластикации композиционных материалов – называемые также червячными прессами. Наибольшее распространение получили одночервячные экструдеры (рис. 4.1). Давление формирования в них создается за счет эффекта Вайссенберга.

Экструдер состоит из червяка 4, который приводится во вращение двигателем 5 через редуктор 6. Червяк вращается внутри цилиндрического корпуса 2, обогреваемого нагревателями 3.

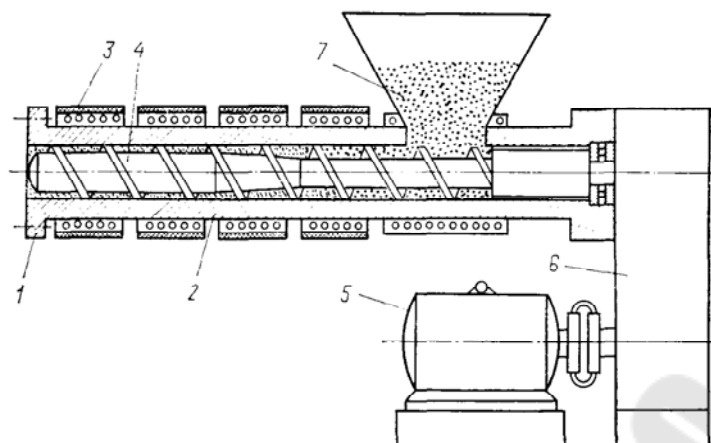


Рис. 4.1. Одночервячный экструдер

Материал в виде гранул или порошка поступает через бункер в цилиндр машины. Вращающийся червяк захватывает материал, поступающий из бункера, продвигает его вдоль экструдера, пластицирует и равномерно нагнетает гомогенный расплав в головку. Плавление материала происходит как за счет тепла, поступающего от нагревателей, так и за счет тепла от внутреннего трения. Начиная плавиться, а затем полностью расплавленная пластмасса винтовой поверхностью червяка соскребается со стенки цилиндра и скользит по поверхности канала червяка.

По характеру процессов, протекающих в канале, различают несколько технологических зон (рис. 4.2).

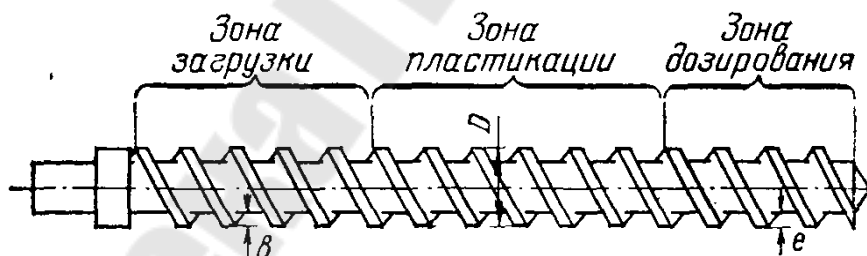


Рис. 4.2. Разделение червяка на зоны и его основные параметры

Участок червяка, на котором перемещаются нерасплавленные частицы полимера, называют зоной загрузки или зоной питания. Зоной пластикации (плавления) принято называть участок червяка, в пределах которого материал практически полностью расплавляется. Участок, на котором течет расплав – это зона дозирования (или зона нагнетания, гомогенизации, выдавливания). Границы между зонами условны; они могут изменяться в зависимости от различных факторов, например, от величины сопротивления потоку расплава, вытекающего из канала червяка. На рис. 4.2 показаны также основные па-

раметры червяка:  $D$  – его диаметр;  $b$  – глубина канала в зоне питания;  $e$  – глубина канала в зоне дозирования.

Для поддержания заданной температуры материального цилиндра в каждой зоне помимо нагрева необходимо предусмотреть возможность удаления избыточного количества тепла, что достигается воздушным или водяным охлаждением зон.

В зону питания пластмассу подают в виде гранул или порошка, имеющих часто температуру производственного помещения. Современные высокопроизводительные агрегаты оснащают устройствами для подсушки и предварительного подогрева (до 60–110 °С) гранулированного сырья. При переработке некоторых пластмасс (например, на основе ПЭТФ, ПА-6, ПА-12) без этой операции не удастся обеспечить стабильный режим и высокое качество изделий.

Продвигаясь в зоне загрузки экструдера материал уплотняется, но практически не перемещивается. Под действием сил внешнего трения в материале, перемещающегося как одно целое, возникают нормальные напряжения. В зоне загрузки материал находится в стеклообразном или частично кристаллическом состоянии. В зависимости от состояния полимера термомеханические кривые имеют различный вид. Свойства материалов в зоне загрузки описываются уравнениями состояния стеклообразных аморфных и частично-кристаллических полимеров.

В зоне сжатия экструдера материал переходит в вязкотекучее состояние при этом в зависимости от типа полимера возможен промежуточный его переход в высокоэластическое состояние, но возможен также переход материала непосредственно в вязкотекучее состояние.

Знание термомеханических кривых полимеров весьма существенно для технологов переработчиков, поскольку характерные точки на этих кривых определяют выбор температур по зонам червяка.

## **4.2. Производство листов методом экструзии**

Листы разной толщины производят из ударопрочного полистирола, непластифицированного поливинилхлорида, полиэтилена, полипропилена и других термопластов. Наиболее совершенный метод изготовления листов – экструзионный (рис. 4.3). Расплав полимера формуется с помощью щелевой экструзионной головки  $1$  в плоскую заготовку, направляемую далее в валковое приемно-гладильное устройство  $2$ , где происходит разглаживание и предварительное охлаждение полотна. После обрезания кромок  $3$  полотно проходит транспортер  $4$  и поступает в тянущие валки  $5$ . Разрезание непрерывного

полотна на мерные отрезки (отдельные листы) осуществляют устройством гильотинного типа 6, после чего готовые листы попадают на штабелер 8.

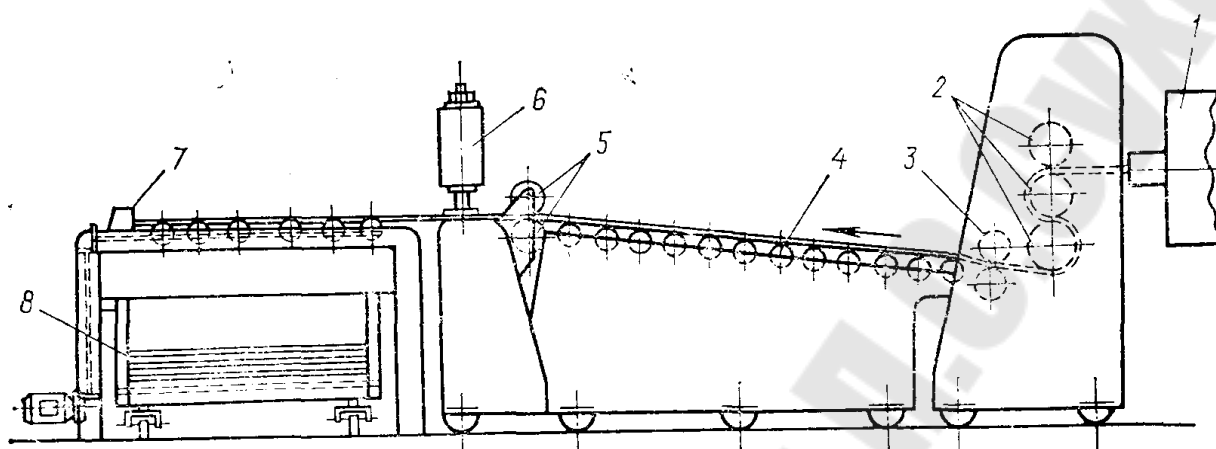


Рис. 4.3. Агрегат для непрерывного получения листов:

1 – экструдер с плоскощелевой головкой; 2 – приемно-гладильное устройство; 3 – дисковые ножи для обрезания кромки; 4 – транспортер; 5 – тянущие валки; 6 – отрезное устройство; 7 – перемещаемый концевой выключатель отрезного устройства; 8 – штабелер

Схема головки экструдера для получения листа шириной до 2,5 м представлена на рис. 4.4. Между распределительным каналом (коллектором) и губками головки расположена упругая призматическая планка. Под действием регулировочных болтов она может изгибаться на отдельных участках щели щелевого канала, что обеспечивает возможность распределения потока материала по ширине головки.

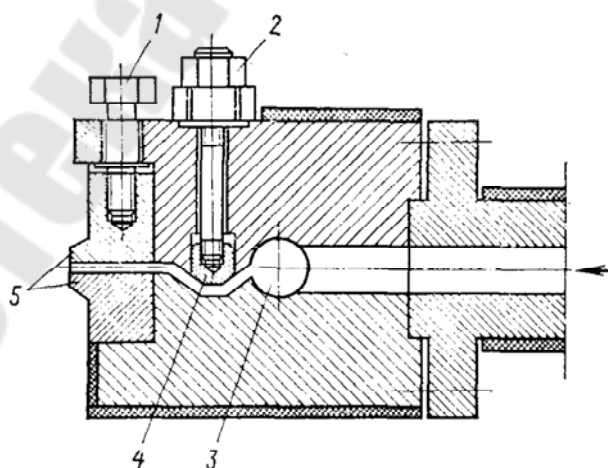


Рис. 4.4. Конструктивная схема плоскощелевой головки для экструзии листов из полиэтилена и полистирола:

1, 2 – регулировочные болты; 3 – коллектор; 4 – упругая призма (балка) дросселя; 5 – формирующие губки

Гладильное устройство состоит из смонтированных на станине валков и ножей для обрезания кромок. Зазоры между валками могут изменяться. Температура валков регулируется. Гладильные валки охлаждают и полируют заготовку.

Технологическими параметрами экструзии листов являются: температура зон цилиндра и головки; температура полировальных валков; скорость отвода листа; частота вращения червяка.

Температура зон цилиндра и головки определяется видом перерабатываемого термопласта и его свойствами, в первую очередь, молекулярной массой, определяющей текучесть расплава, которая, как известно, оценивается показателем текучести расплава (ПТР).

Температура полировальных валков зависит от вида полимера, скорости экструзии и толщины листа. Высокие скорости экструзии и отвода полотна требуют понижения температуры полировальных валков.

Скорость отвода листа (полотна) устанавливают в соответствии с производительностью линии. Существенную роль играет толщина листа: чем больше толщина листа, тем ниже скорость отвода. Правильный выбор скорости отвода позволяет избежать таких дефектов, как шероховатость поверхности, разнотолщинность листа.

Частота вращения червяка влияет на степень однородности расплава и качества листа. Например: одной из причин понижения механической прочности, а также тусклой поверхности листов могут быть слишком высокая скорость вращения червяка.

Термопласты, склонные к термогидролитической деструкции (разрушение основной цепи макромолекулы), перед экструзией подсушивают. Подсушку проводят при температуре 80–100 °С в сушилках с циркуляцией воздуха или вакуумных сушилках.

Листы можно получать также с помощью кольцевой экструзионной головки. Таким образом производят лист, например, из ПВХ на двухчервячных экструдерах. Обычно установка состоит из горизонтального экструдера с угловой головкой, экструдирующей расплав вертикально вниз. После выхода из головки получаемый рукав разрезают, разворачивают в плоское полотно и перед приемным устройством вновь прогревают с помощью батареи инфракрасных излучателей для снятия внутренних напряжений.

Для производства многих видов изделий, например линолеума из двух различных композиций на основе ПВХ, используют агрегат для экструзии двухслойных листов. Экструдат, выходящий из плоскощелевой головки, пропускают через гладильные валки, а затем — через тепловую камеру для снятия внутренних напряжений. Разрабо-



тана также технология производства листов из ПВХ, армированного сеткой. Между двумя экструдруемыми отдельными листами прокладывают сетку. Полученное трехслойное полотно проводят затем через обогреваемые валки.

### 4.3. Производство труб

Основными материалами для получения труб методом экструзии служат полиэтилен высокой плотности (ПЭВП), полипропилен (ПП), поливинилхлорид (ПВХ), второпласты.

Из ПЭВП выпускаются четыре типа труб: Л – легкие (рабочее давление 0,25 МПа), СЛ – средне-легкие (0,4 МПа), С – средние (0,6 МПа), Т – тяжелые (1 МПа). Диаметр наружный труб 63–1200 мм.

Трубы из ПП выпускают: Л (0,25 МПа), С (0,6 МПа), Т (1 МПа). Диаметр наружный 10–450 мм. Трубы ПЭ и ПП применяют для транспортировки воды, воздуха, а также для различных жидкостей и газообразных продуктов.

Из ПВХ – шесть типов труб с наружным диаметром 10–450 мм;  $P = 0,25–1,6$  МПа. Применяют для транспортировки технической воды и жидкостей. Из ПВХ (пластиката) выпускаются шланги различного назначения: поливочные, масло-бензостойкие.

Фторопластовые трубы (Ф–4Д) изготавливают диаметром 30–600 мм и применяют для перекачивания агрессивных жидкостей. В настоящее время широкое распространение получили гофрированные трубы и шланги в сельском хозяйстве, строительстве, электротехнике, станкостроении, медицине, для бытовых приборов и т. д. Диаметр 16–200 мм; их достоинство – сочетание продольной гибкости и поперечной жесткости.

Технологический процесс производства труб осуществляют с помощью агрегатов, состоящих из экструдера, для подготовки расплава; головки, формирующей из расплава трубчатую заготовку; калибрующего устройства; тянущего устройства, осуществляющего отвод трубы с заданной скоростью; автоматической пилы, разрезающей непрерывную трубу на мерные куски и устройства для укладки готовой продукции.

Существенное значение имеет конструкция формирующей головки, которая по массе может быть равна самому экструдеру. Сложность головки обусловлена необходимостью монтажа в ней так назы-

ваемого вытесняющего устройства (дорна), которое обеспечивает образование непрерывной полости внутри трубы. Для получения трубы заданного диаметра через дорн подается сжатый воздух (рис. 4.5)

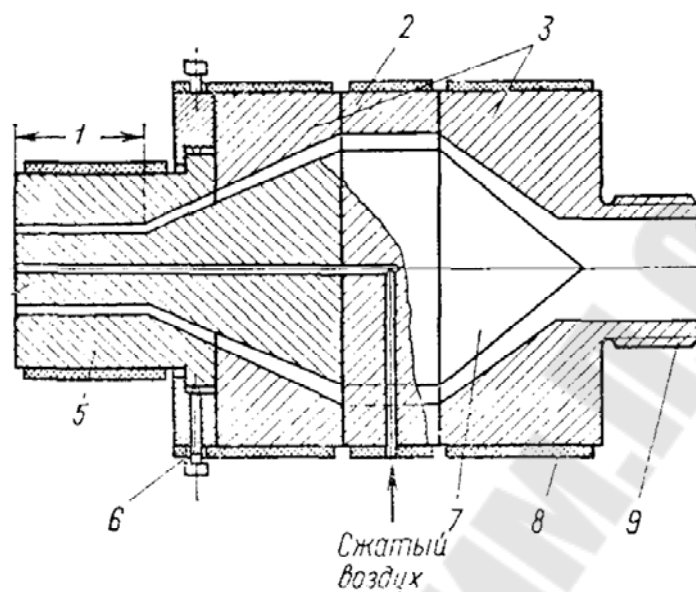


Рис. 4.5. Схема головки для экструзии труб:

- 1 – зона «успокоения» потока; 2 – дорнодержатель; 3 – корпус; 4 – дорн;  
5 – мундштук; 6 – центрирующий винт; 7 – головка дорна; 8 – нагреватель;  
9 – резьба для присоединения к экструдеру

#### 4.4. Производство рукавных пленок методом экструзии с раздувом

Расплав, образующийся в экструдере 1 (рис. 4.6), выдавливается через экструзионную головку с кольцевым формирующим каналом. Полученная таким образом тонкостенная труба 3 подвергается пневматическому растяжению. Внутри рукава 5 устанавливается избыточное давление. Воздух в рукаве запирается с помощью сжимающих валков 7. Чтобы пленочная заготовка сохраняла цилиндрическую форму, и полученный продукт имел равномерную толщину, тонкостенную трубу подвергают быстрому и равномерному охлаждению с помощью холодного воздуха, подаваемого в кольцо 4. В дальнейшем рукав охлаждают воздухом на пути от кольца 4 до валков 7. С помощью двух щек 6 осуществляют складывание рукава, который после валков 7 через натяжной ролик 8 попадает на намоточное устройство 9. При недостаточном охлаждении пленки она может слиться и свариваться.

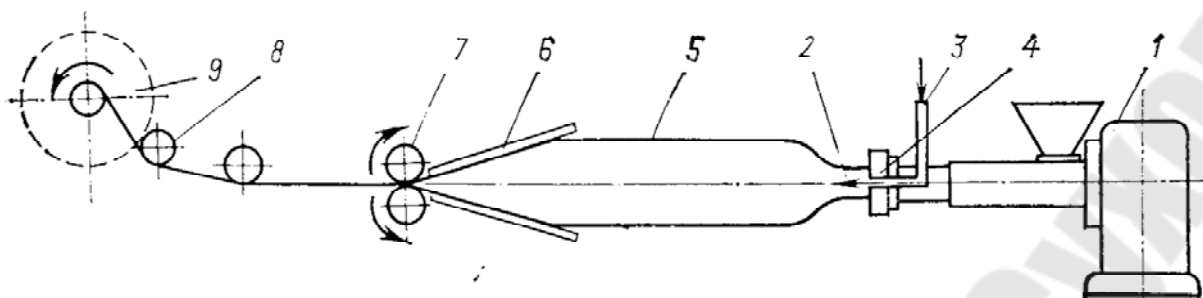


Рис. 4.6. Схема производства рукавных пленок методом экструзии с раздувом: 1 – экструдер; 2 – тонкостенная труба; 3 – подача сжатого воздуха; 4 – кольцо воздушного охлаждения; 5 – рукав; 6 – направляющие щетки; 7 – сжимающие валки; 8 – натяжной ролик; 9 – намоточное устройство

Получение пленки заданной толщины и ширины осуществляют, варьируя продольную вытяжку за счет частоты вращения сжимающих валков и степень раздува рукава за счет изменения давления внутреннего воздуха.

При горизонтальной схеме процесса рабочую длину рукава задают в зависимости от требуемой толщины продукта и скорости, с которой изменяется толщина материала при вытяжке и раздуве рукава. Важно также учитывать температуру, при которой рукав проявляет склонность к слипанию. Так, полиэтилен низкой плотности вплоть до температуры 40 °С.

Необходимо принимать меры, исключая колебания раздутого рукава до тех пор, пока не произойдет отверждения полимера. В противном случае, из-за изгибов рукава на пленке будут возникать складки, а ее поверхность приобретет волнистость. Поэтому сквозняки и даже вход и выход людей из помещения, в котором протекает процесс, недопустимы. Для предотвращения указанных воздействий рукав обычно «капсулируют», заключая в специальную шахту с прозрачными стенками.

При горизонтальной схеме процесса охлаждение верхней и нижней сторон рукава происходит с разной скоростью. Горизонтальную схему экструзии с прямоточной головкой обычно используют при изготовлении пленок из непластифицированного ПВХ, который имеет низкую термостабильность и большую чувствительность к перегреву. В угловых головках, применяемых при других схемах экструзии «вверх» и «вниз» (рис. 4.7), опасность перегрева и термодеструкции полимера больше из-за искривления пути расплава в подводящей части головок.

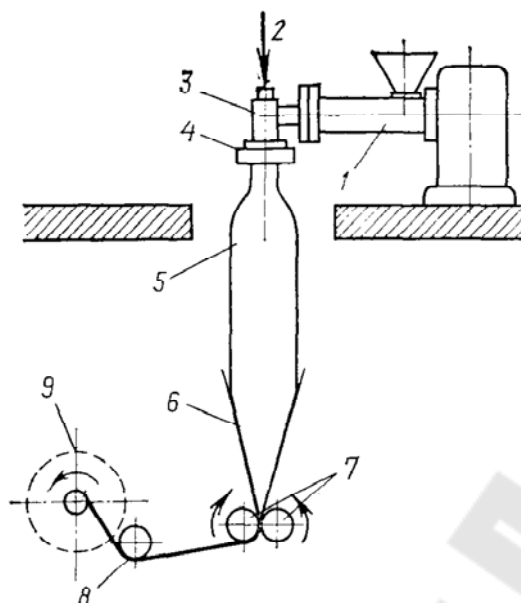


Рис. 4.7. Схема установки для получения пленки методом экструзии с раздувом рукава (приемка вниз):

- 1 – экструдер; 2 – подача сжатого воздуха; 3 – головка экструдера;  
 4 – охлаждающее кольцо; 5 – рукав; 6 – направляющие щęki;  
 7 – сжимающие валки; 8 – натяжной ролик; 9 – намоточное устройство

Технологические режимы формования пленок определяются такими параметрами, как температура цилиндра экструдера по зонам, температура головки; температура охлаждающих валков; давление расплава в головке.

Температуру расплава в цилиндре и головке устанавливают в соответствии с видом перерабатываемого термопласта. Температуру экструзии по возможности стремятся поддерживать достаточно высокой, т. к. высокая температура способствует ликвидации кристаллических образований в расплаве и в готовой пленке. С другой стороны, при высоких температурах полимеры могут деструктурировать (разрушение макромолекул при повышенных температурах). Температура переработки полиэтилена не должна превышать 240–250 °С.

#### 4.5. Производство плоских пленок с охлаждением на валках

Данное производство пленок имеет ряд преимуществ перед экструзионно-раздувным методом:

1. Высокая прозрачность.
2. Отсутствие опасности склеивания пленок вследствие более интенсивного охлаждения.

3. Упрощение намотки, способствующее получению пленок без складок, меньшая высота производственного помещения.

4. Возможность наносить пленочное полотно на различные подложки непосредственно после его получения без дополнительного нагрева.

Основные недостатки метода:

1. Трудность регулировки толщины получаемой пленки.

2. Показатели механических свойств плоских пленок ниже, чем у экструзионно-выдувных.

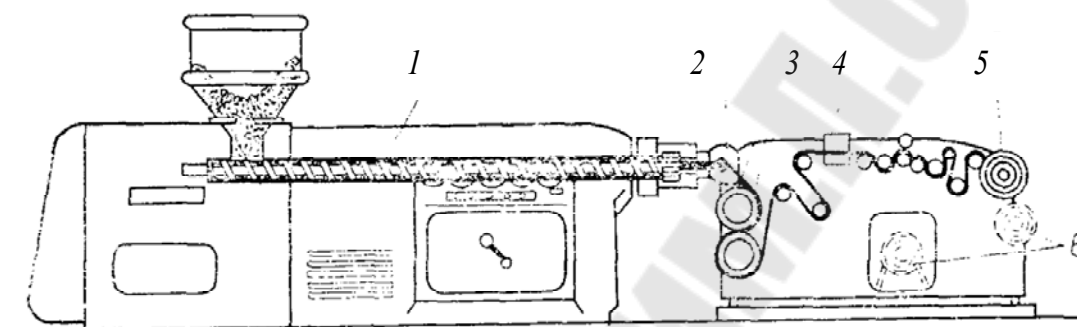


Рис. 4.8. Схема установки для экструзии плоской пленки с охлаждением на валках:

1 – экструдер; 2 – плоскощелевая головка; 3 – валки предварительного охлаждения; 4 – устройство для замера толщины пленки; 5 – приемное устройство

Расплав из экструдера 1 (рис. 4.8), профильтрованный через пакет сит, попадает в плоскощелевую головку 2. Расплав из плоскощелевой головки попадает на хромированные валки 3, охлаждаемые водой, и затвердевает. После охлаждения на валках пленка проходит через устройство для замера толщины 4, приспособление для обрезания кромок, и поступает на приемное устройство 5. Требуемая толщина пленки достигается обычно не за счет изменения щелевого зазора головки, а путем вытяжки и ориентации пленочного полотна в продольном и поперечном направлениях. Прозрачные пленки получают при толщине, не превышающей, например, для полиэтилена высокой плотности 5–6 мкм. При большей толщине охлаждение заготовки будет сравнительно велико, так что в значительной степени успеет произойти кристаллизация материала.

Технологические режимы формования пленок определяются такими параметрами, как температура цилиндра экструдера по зонам, температура головки, температура охлаждающих валков, давление расплава в головке.

Температуру расплава в цилиндре и в головке устанавливают в соответствии с видом перерабатываемого материала. Температуру экструзии стремятся поддерживать высокой для ликвидации кристаллических образований в расплаве и в готовой пленке.

#### **4.6. Производство плоских пленок методом экструзии с поливом в водяную ванну**

Данный способ позволяет существенно улучшить качество плоских пленок из пропилена и полипропилена при высоких скоростях из-за применения водяной ванны. Пленка выходит из головки вертикально вниз и попадает в водяную ванну, где быстро охлаждается.

На качество пленок, получаемых этим методом влияет расстояние от формирующих губок плоскощелевой головки до поверхности воды. Оно равняется 6–11 мм. При охлаждении пленки в воде существенное влияние имеет постоянство температуры воды. В процессе экструзии необходимо следить, чтобы поверхность воды была спокойной. Место ввода воды располагают так, чтобы холодный поток не попадал непосредственно на пленку. Используют специальные циркуляционные установки с угольным фильтром и разбрызгивателями. Сток воды осуществляют через кольцевой желоб, расположенный вокруг ванны, или с помощью специальных штуцеров.

Температурный режим экструзии пленок с охлаждением в воде зависит от конструкции червяка экструдера и головки, а также от свойств перерабатываемого материала.

Для полиэтилена низкой плотности рекомендуется последовательно повышать температуру по зонам экструдера: от 60–100 °С в зоне загрузки до 210–240 °С в зоне нагнетания при червяке с плавно уменьшающейся глубиной канала и от 170–180 °С до 230–250 °С при червяке с короткой зоной сжатия. Температуру головки при этом устанавливают на уровне 230–250 °С.

#### **4.7. Нанесение полимерных пленок на подложки методом экструзии**

Экструзионным методом полимерные пленки из полиэтилена, полипропилена, пластифицированного поливинилхлорида, полиамида и других термопластичных полимеров можно нанести на различные подложки. Пленочные материалы, состоящие из двух и более слоев,

называют многослойными. Если в состав многослойного пленочного материала помимо слоев из пластических масс входят другие пленочные материалы, например, алюминиевая фольга, бумага, то такие пленочные материалы принято называть комбинированными.

Процесс нанесения полимерной пленки на подложку методом экструзии состоит из получения плоской полимерной пленки и ее нанесения в горячем состоянии на подложку. На рис. 4.9 изображена схема нанесения полимерных пленок на бумагу. Полимер экструдруется через плоскощелевую головку 6 экструдера на бумажную ленту. Пленка в размягченном состоянии под давлением валков 4 и 7 наносится на бумагу (или пленку-основу). Гуммированный валок создает давление, достаточное для спрессовывания горячей пленки (температура которой выше 200 °С) на бумаге. Бумагу перед подачей в зазор валков 4 и 7 предварительно подогревают для повышения адгезии полимера к бумаге. При нанесении расплава полиэтилена на пленку-основу последнюю предварительно обрабатывают коронным разрядом, ультрафиолетовым светом или различными веществами, обеспечивающими взаимодействие адгезива и субстрата.

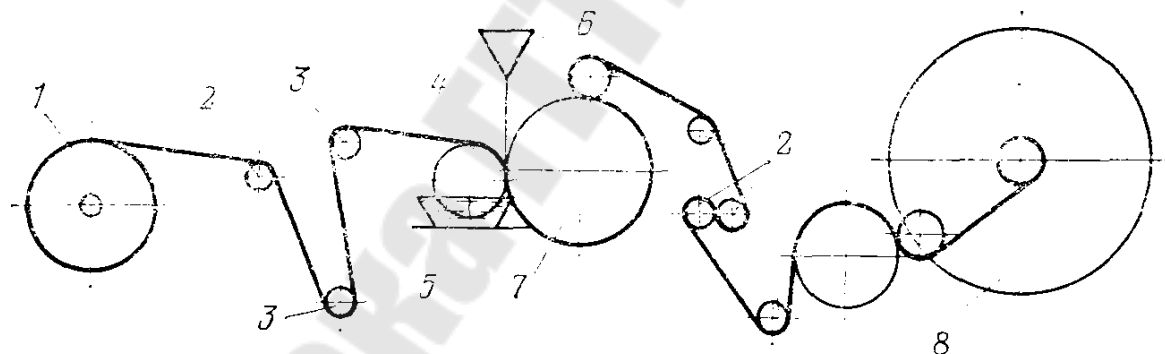


Рис. 4.9. Схема агрегата для нанесения полимерных пленок на бумагу:  
 1 – рулон с бумагой; 2 – направляющие валки; 3 – сушильные валки, обогреваемые паром; 4 – валок, облицованный силиконовой резиной;  
 5 – охлаждающая ванна; 6 – плоскощелевая головка экструдера;  
 7 – полированный барабан, охлаждаемый водой; 8 – узел намотки

Основная задача при получении комбинированных пленочных материалов состоит в обеспечении адгезии между слоями, сильно различающимися по химическому строению (склеивание сходных материалы обычно не представляет практического интереса). Хорошая адгезия может быть достигнута при большой истинной (эффективной) поверхности контакта и достаточно прочных химических связях на

этой поверхности. В каждом случае необходимо выяснить механизм развития во времени истинной поверхности контакта. Зная этот механизм можно количественно прогнозировать влияние на него различных факторов. Так, установлено, что при получении комбинированной пленки целлофан – полиэтилен зависимость эффективной поверхности контакта от времени и температуры определяется заполнением расплавленным полиэтиленом дефектов на поверхности стеклообразного целлофана.

Увеличение температуры и времени контакта, а также давления способствует повышению адгезии в процессе формирования адгезионного шва. При его разрушении возрастание температуры расслаивания и времени действия деформирующей силы сопровождается уменьшением разрушающего напряжения. Последнее становится понятным, если распространить представление о механизме когезионного разрушения полимеров на адгезионное разрушение. Согласно этим представлениям связи межмолекулярного взаимодействия разрушаются флуктуациями тепловой энергии. Чем больше таких разрывов произойдет за время действия деформирующей силы, тем ниже значение напряжения, при котором происходит разрушение.

Прочность связи между адгезивом и субстратом определяется энергией взаимодействия между молекулами. Увеличение межмолекулярного взаимодействия должно сопровождаться повышением прочности адгезионной связи. Введение активных функциональных групп в макромолекулы адгезива или химическая обработка поверхности субстрата, действие радиации или ультразвука способствуют росту адгезионного взаимодействия.

Наибольшая прочность адгезионного шва достигается при максимальном заполнении микродефектов на поверхности субстрата. Это же относится и к случаю получения комбинированной пленки на экструдере или на прессе. Затекание расплава полиэтилена в микродефекты на поверхности целлофана способствует увеличению контактов между активными функциональными группами обоих материалов. Повышение давления также вызывает возрастание числа таких контактов.

#### **4.8. Литье под давлением**

*Литье под давлением* – метод формования изделий из пластмасс и резиновых смесей в литьевых машинах, заключающийся в размягчении материала до вязкотекучего состояния и последующем пере-



мещении его в литьевую форму, где материал затвердевает при изменении температуры, приобретая конфигурацию внутренней полости формы.

Литье под давлением позволяет получать разнообразные изделия сложной конфигурации, обладающие массой от нескольких граммов до нескольких килограммов с толщиной стенок до 10 мм (в редких случаях – до 20 мм). Получают как единичные изделия, так и крупные партии (серии). Размер партий ограничен только сроком службы литьевых форм.

При литье термопластов расплав, заполнивший форму, затвердевает при охлаждении, после чего форму раскрывают (размыкают) и выталкивают изделие.

При формовании реактопластов полимерную композицию впрыскивают в форму, которую затем нагревают до температуры отверждения материала. После этого форму открывают и извлекают из нее готовое изделие.

Первоначально метод литья пластмасс с применением высокого давления был разработан для таких материалов, как ацетобутират целлюлозы, полиметилметакрилат и полистирол. Технические параметры литьевых машин, например максимальный объем отливки, и теперь принято задавать по полистиролу. В настоящее время полиолефины также входят в число полимеров, наиболее часто перерабатываемых литьем под давлением. Следует учитывать, что плотность полиолефинов ( $0,90\text{--}0,97\text{ г/см}^3$ ) ниже, чем плотность полистирола (около  $1,05\text{ г/см}^3$ ) и их, как правило, перерабатывают при более высоких температурах. В силу этого удельный объем полиолефинов при условиях переработки оказывается соответственно больше, чем у полистирола. Максимальная масса изделий, которые удается отливать из полиолефинов, на практике может составлять всего около 50 % предельной массы изделий из полистирола при литье под давлением на обычных поршневых машинах и примерно 70–80 % при литье на машинах с червячной пластикацией материала.

Машиностроительная промышленность выпускает литьевые машины, на которых можно формовать изделия разных размеров – от мелких (с массой около 10 г) до очень крупных (с массой до 32 кг).

Технологический процесс литья изделий из термопластичных полимеров состоит из следующих операций: 1) плавление, гомогенизация и дозирование полимера; 2) смыкание формы; 3) подвод узла впрыска к форме; 4) впрыск расплава; 5) выдержка под давлением

и отвод узла впрыска; 6) охлаждение изделия; 7) раскрытие формы и извлечение изделия. Операционная схема процесса литья под давлением приведена на рис. 4.10.

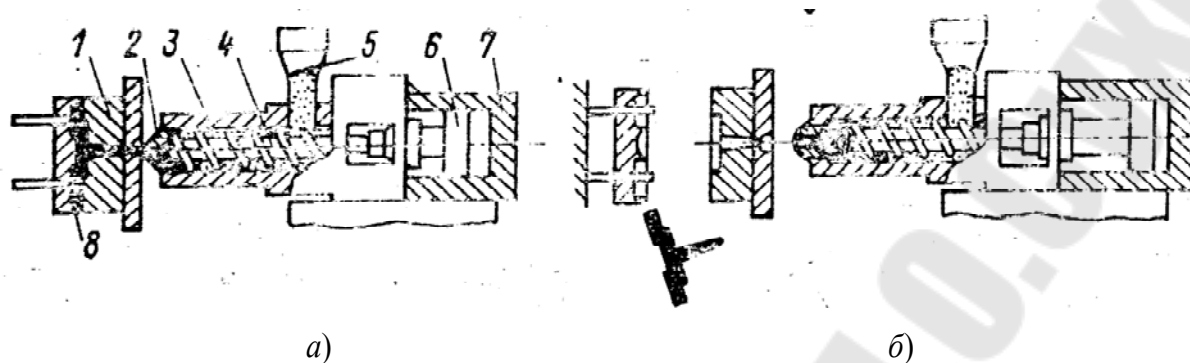


Рис. 4.10. Конструктивная схема литьевой машины

В момент впрыска расплава и выдержки его под давлением (рис. 4.10, а) цилиндр литьевой машины 3 подведен к литьевой форме 1 и сопло 2 соединено с литниковым каналом формы. Шнек 4 под действием поршня 6 узла впрыска перемещается к форме, и расплав впрыскивается в формующую полость. Для исключения вытекания расплава из формы дается выдержка под давлением. Во время охлаждения изделия, когда расплав в литнике достаточно охлажден, узел впрыска отводится от формы (рис. 4.10, б) и начинается дозирование новой порции расплава, при этом шнек, вращаясь, отходит вправо. В конце операции дозирования, когда накопится определенная масса расплава, шнек останавливается. После окончания охлаждения форма раскрывается и происходит удаление изделия. Такова общая последовательность технологических операций.

## 4.9. Вальцевание

*Вальцевание* – один из самых распространенных методов получения пленочных и листовых материалов. Сущность процесса состоит в многократном пропускании материала через зазор между вращающимися навстречу друг другу обогреваемыми валками. Под действием температуры и механического усилия в зазоре материал деформируется, размягчается, перемешивается и гомогенизируется. При вальцевании происходит пластикация материала, причем интенсивность пластикации растет с понижением температуры валков и увеличением продолжительности вальцевания. Конструкции современных вальцов позволяют регулировать частоту вращения переднего ( $n_1$ ) и заднего ( $n_2$ ) валков, что приводит к изменению коэффициента фрикции ( $n_1/n_2$ ) обычно в пределах от 1,1 до 1,3 (рис. 4.11).

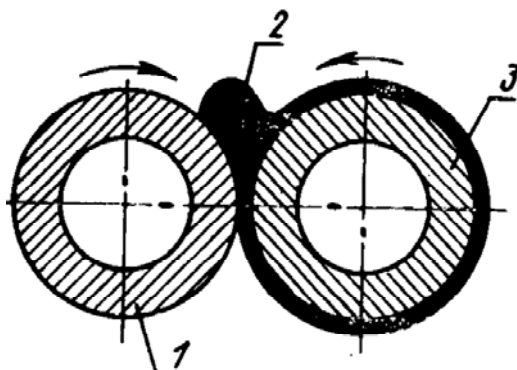


Рис. 4.11. Схема вальцевания:  
1, 3 – вальцы; 2 – материал

Процесс вальцевания начинается с загрузки полимера. Если материал поступает горячим, то вся загрузка (до 40–50 кг) подается сразу, а холодный материал загружают постепенно. Для облегчения вальцевания перед загрузкой холодного материала подают порцию горячей свальцованной массы от предыдущей операции. Загружаемый материал равномерно распределяют по всей длине валков.

Вальцевание ведут, как правило, при минимальном зазоре валков, в результате чего в зазоре образуется наплыв материала. В процессе материал скапливается на переднем, более горячем валке, покрывая его сплошным слоем, а задний валок остается чистым. После плавления основной массы слой материала несколько раз подрезают ножом, свертывают в рулон и возвращают в рабочую зону для улучшения перемешивания. Если процесс вальцевания ведут с целью смешения нескольких ингредиентов, то их вводят постепенно, после плавления основной массы материала.

Процесс заканчивают после достижения однородной массы. Готовый материал далее используется для получения пленок, листов, труб, плит.

#### 4.10. Каландрование

*Каландрование* – это процесс непрерывного формирования материала в виде бесконечной ленты путем его пропускания через зазор между несколькими параллельно расположенными вращающимися валками (рис. 4.12).

Каландрование осуществляют с помощью специальных машин – каландров, представляющих собой многовалковые машины. Они предназначены для получения полимерных пленок, дублирования их между собой и другими материалами. Число валков, как правило, составляет от 3 до 5. Каждый валок снабжен системой внутреннего

обогрева и регулирования температуры. Для поддержания требуемого рабочего зазора и регулирования частоты вращения валков их снабжают индивидуальными приводами.

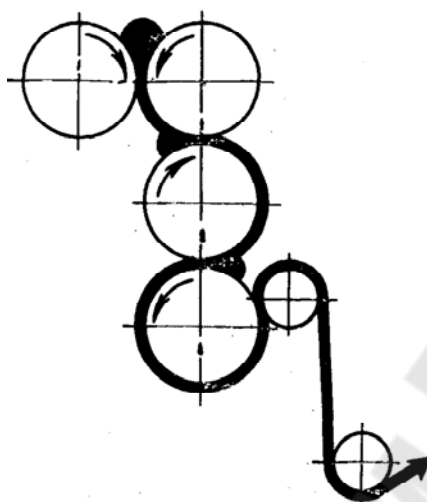


Рис. 4.12. Схема каландрования

Наибольшее распространение получили 4-х валковые каландры с *F*- и *Z*-образным расположением валков. Они удобны в обслуживании, легче компенсировать распорные усилия, возникающие при работе, что упрощает конструкцию и делает их более надежными. Диаметр валков выбирают в зависимости от максимальной толщины получаемого листа.

Поступающий на каландр материал подается в загрузочную зону – рабочий зазор между первым и вторым валками, а затем последовательно проходит через несколько зазоров уменьшающейся толщины. Температура рабочих валков постепенно повышается; температура нижнего валка, предназначенного для охлаждения полотна, на несколько градусов ниже, а окончательное остывание происходит на приемном столе или роликовом конвейере.

В процессе каландрования материала, под действием больших сдвиговых напряжений возникает значительная ориентация макромолекул полимера вдоль направления отбора продукта (каландровый эффект). В результате этого эффекта лист или пленка – анизотропны, поэтому прочность и разрывное удлинение при разрыве зависят от направления, в котором вырезан образец для испытаний. Прочность образцов, вырезанных вдоль полотна, оказывается выше, а относительное удлинение при разрыве – меньше, чем для образцов, вырезанных в поперечном направлении.

## **4.11. Виды прессования. Применяемое оборудование**

*Прессование* – один из распространенных методов получения изделий из полимеров, в первую очередь из термореактивных материалов. Существуют следующие разновидности прессования: компрессионное (прямое), литьевое (трансферное), роторное, непрерывное профильное, или штранг-прессование. Основным видом прессования является компрессионное.

Прессование предусматривает загрузку материала в пресс-форму, его перевод при нагревании в вязкотекучее состояние, формование изделия под действием давления и фиксацию заданной конфигурации изделия в результате ускоренного сшивания олигомеров при повышенной температуре (при переработке реактопластов) или охлаждения материала до температуры ниже температуры стеклования (при формовании термопластов). В цикле прессования реактопластов одновременно с приданием заданной формы происходит его отверждение. Полученное этим методом изделие, как правило, обладает формоустойчивостью при повышенной температуре и не требует охлаждения перед извлечением из пресс-формы. При прессовании термопластов изделие приобретает формоустойчивость только при охлаждении под давлением.

Прямое, или компрессионное, прессование – процесс, при котором материал загружается непосредственно в оформляющую полость пресс-формы, где происходит его формование и отверждение.

Основное технологическое оборудование для прессования – гидро-прессы. В ГОСТ 8200-80 приведены основные параметры и размеры базовых прессов. Каждая марка прессы выпускается по техническим условиям. Например, пресс марки ДБ 2424 по ТУ 2-041-741-74. Марка расшифровывается: Д – пресс гидравлический для неметаллических материалов; Б или В – поколение машин (В – новое); две первые цифры – серия; две последние – условное значение основного параметра усилия (например 25 – 25 Тс; 26 – 40 Тс; 28 – 63 Тс; 30 – 100 Тс и т. д.).

### **4.11.1. Технологический процесс прессования**

Технологический процесс прессования включает следующие стадии: подготовка и дозирование пресс-материала, его предварительный подогрев, загрузка пресс-формы, опускание плит прессы и смыкание пресс-формы, подпрессовка, выдержка под давлением, подъем подвижной плиты прессы с пуансоном и разъем пресс-формы, извлечение изделия, очистка пресс-формы и подготовка ее к следующему рабочему циклу (к следующей запрессовке). Готовое изделие

после извлечения из пресс-формы освобождают от резбовых знаков, вставок, облоя и при необходимости направляют на механическую обработку и окончательную отделку. Крупногабаритные изделия после извлечения из формы часто подвергают нормализации.

*Предварительный подогрев.* Нагрев материала до температуры прессования и выдержка под давлением – наиболее длительные стадии технологического процесса прессования. С учетом низкой теплопроводности пластмасс понятно стремление сократить время цикла прессования путем предварительного подогрева материала перед его загрузкой в пресс-форму. Для того, чтобы на стадии прессования отверждение не успевало пройти слишком глубоко, предварительный подогрев материала необходимо осуществлять достаточно быстро. Предварительный подогрев позволяет: увеличить текучесть пресс-материала, благодаря чему снижается требуемое давление прессования, облегчается течение материала в форме (обеспечивается возможность формования более крупных и сложных изделий); повысить температуру прессования и, следовательно, скорость отверждения материала; сократить время выдержки под давлением и, в итоге, заметно увеличить производительность труда; снизить брак и улучшить свойства готовых изделий за счет снижения внутренних напряжений и повышения однородности структуры по толщине материала.

*Загрузка.* Перед прессованием в пресс-форму помещают материал в количестве, соответствующем массе прессуемого изделия. Как указывалось выше, наиболее удобно штучное дозирование таблетированного материала, однако в ряде случаев применяют также другие методы дозирования сырья, загружая в пресс-формы материал в виде порошка, крошки, гранул и т. д. При загрузке стремятся к возможно более равномерному распределению материала в пресс-форме. В тех случаях, когда объем загрузочной камеры недостаточен для размещения всей навески, загружают форму в несколько приемов, последовательно уплотняя материал каждой порции путем опускания пуансона.

Изделия технического назначения, как правило, изготавливают с металлической арматурой. Арматура служит для местного упрочнения изделий, упрощения сборки (соединения) различных деталей, для более надежного скрепления изделий из пластмасс между собой, а в некоторых случаях – в качестве проводника электрического тока. Как правило, арматуру устанавливают в пресс-форму до загрузки пресс-материала и лишь в редких случаях впрессовывают в уже оформленное изделие сразу после прессования или в не полностью

отвержденное изделие. Для фиксации арматуры в пресс-форме могут быть предусмотрены оформляющие знаки, специальные отверстия с фиксаторами или резьбовые шпильки. С момента окончания загрузки материала в форму начинается технологическая стадия прессования.

*Замыкание формы.* После установки арматуры и загрузки пресс-материала пуансон опускают, и начинается формование изделия: давление рабочей жидкости в цилиндре пресса через пуансон передается в форму на материал, который растекается и заполняет полость формы. На прессах с групповым приводом холостой ход пуансона совершается с высокой скоростью при низком давлении в гидравлической системе, а формование изделия вплоть до замыкания формы производится медленно при высоком давлении. На прессах с индивидуальным приводом после соприкосновения пуансона с материалом давление в гидросистеме начинает возрастать и достигает максимального значения к моменту полного смыкания пресс-формы. Слишком быстрое смыкание формы может привести к выбросу материала, а также резко увеличивает износ формы. Поэтому перед соприкосновением пуансона с материалом следует замедлить ход плунжера.

*Подпрессовка.* Подпрессовкой называют кратковременный подъем пуансона с открытием полости формы и последующим ее смыканием. Основное назначение подпрессовки – дегазация формы, т. е. удаление летучих паров и влаги, которые начинают интенсивно выделяться в ходе отверждения нагретого пресс-материала. Благодаря подпрессовке сокращается время выдержки, а повышение однородности структуры и снятие внутренних напряжений, возникающих в результате выделения газообразных продуктов, позволяет значительно повысить физико-механические и электрические характеристики готовых изделий.

Подпрессовки особенно эффективны при изготовлении толсто-стенных изделий. В зависимости от размеров и сложности изделий могут требоваться две, три подпрессовки (и даже больше). Подпрессовки возможны не во всех случаях: при прессовании изделий с арматурой, при наличии в форме различных съемных вставок и знаков, а также при прессовании тонкостенных изделий большой высоты применение подпрессовок приводит к браку.

Выбор момента начала подпрессовки зависит от характеристик пресс-материала, степени и скорости его прогрева в форме. При прессовании материалов с низкой текучестью и высокой скоростью отверждения, а также при применении предварительного подогрева ма-

териала подпрессовку можно начинать сразу после смыкания формы. Наоборот, при прессовании высокотекучих материалов с низкой скоростью отверждения, а также при прессовании толстостенных изделий промежутки времени между смыканием формы и началом подпрессовки может достигать 15–30 с.

Длительность самой подпрессовки зависит от размеров изделия, его глубины, но колеблется в сравнительно узких пределах (2–5 с); как правило, более целесообразным оказывается проведение нескольких коротких подпрессовок вместо одной продолжительной подпрессовки.

*Выдержка* – это время пребывания материала в нагретой форме, необходимое для его полного отверждения. Выдержка начинается с момента первого смыкания формы и заканчивается в момент подъема пуансона перед извлечением (выталкиванием) изделия. Выдержка зависит от скорости отверждения пресс-материала, температуры его предварительного подогрева, а также от вида изделия и его толщины.

Поскольку различные показатели свойств материалов достигают оптимальных значений при различном времени отверждения, то выбор времени выдержки в известной степени определяется назначением готовых изделий. Увеличение продолжительности выдержки не всегда приводит к ухудшению свойств, в некоторых случаях это дает противоположный результат. Выдержка – наиболее продолжительная операция цикла прессования, поэтому снижение ее продолжительности имеет большое значение для повышения производительности процесса прессования в целом.

При прессовании изделий, которые необходимо охлаждать под давлением, таких, как, например, слоистые пластики, время выдержки может быть очень значительным, и из-за низкой теплопроводности материала оно быстро возрастает с ростом толщины прессуемых изделий.

*Съем изделий.* Подъем пуансона и съем изделий осуществляется после окончания стадии выдержки. В зависимости от конструкции пресс-формы и вида изделия съем продукта может происходить с помощью толкателей (в матрице или пуансоне), с помощью специальных съемников или вручную (при многоразъемной конструкции формы или наличии вкладышей и сложной арматуры). Готовые изделия освобождают от вкладышей и маркировочных деталей. После охлаждения изделие механически обрабатывают: удаляют грат, литники, сверлят отверстия, нарезают резьбы, шлифуют, полируют, окрашивают, металлизуют и др.



#### 4.11.2. Требования к пластмассам при прессовании

Методом прессования перерабатывают материалы на основе различных олигомеров и наполнителей. Наибольшее распространение в качестве сырья для прессования получили фенопласты (материалы на основе фенолоформальдегидных олигомеров), а также оминопласты (материалы на основе продуктов поликонденсации карбамида и меламин с формальдегидом).

В зависимости от вида наполнителя пресс-материалы разделяют на пресс-порошки, волокниты и слоистые пресс-материалы. Пресс-порошки должны обладать хорошей сыпучестью и легко поддаваться таблетированию. Волокниты часто имеют вид массы, состоящей из крупных комков, склонных к склеиванию и с трудом поддающиеся измельчению; они трудно таблетуются и их переработка сопряжена с рядом трудностей.

Группа слоистых пресс-материалов включает гетинакс, текстолиты, стеклотит и другие материалы, в которых наполнителями служат различного рода бумаги, маты, ткани, пленки и т. п. Как правило, прессование этих материалов проводят с целью получения листов и плит.

Для выбора оптимальной технологии и режимов прессования важно знать технологические свойства пресс-материалов, основными из которых являются влажность, содержание летучих примесей, гранулометрический состав, содержание связующего, скорость отверждения, текучесть, удельный объем, продолжительность пребывания в вязкотекучем состоянии и усадка.

Повышенная влажность – одна из наиболее частых причин брака изделий, получаемых прессованием. При аттестации сырья оценивают также содержание летучих низкомолекулярных продуктов. Как и влага, они вызывают образование вздутий, коробление изделий и другие виды брака. Иногда определяют суммарное содержание влаги и летучих. Рекомендуются также оценивать размер частиц пресс-порошка и относительное содержание частиц различных размеров. Гранулометрический состав и толщина помола сырья значительно влияет на внешний вид изделия.

Важнейшей характеристикой технологических свойств порошкообразных пресс-материалов служит их текучесть. Материалы с повышенной текучестью прессуются при более низких давлениях, лучше заполняют пресс-форму сложной конфигурации.

Текучесть материала зависит от большого числа факторов. Однако при прочих равных условиях решающее значение имеет вязкость связующего и скорость его отверждения. Это позволяет использовать результаты оценки технологических свойств не только для выбора

режимов прессования, но и для оценки пригодности материала для переработки в заданное изделие.

Важной характеристикой порошкообразного пресс-материала является его насыпная плотность, т. к. она определяет размеры загрузочной камеры или загрузочной полости формы, а также выбор способа дозирования материала.

#### 4.12. Ротационное формование

*Ротационное формование* – это метод изготовления полых изделий из порошков или паст термопластичных полимерных материалов.

При ротационном формовании дозированную порцию материала загружают в полую металлическую форму, которую герметично закрывают и приводят во вращение в одной или в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Одновременно форму нагревают до температуры, необходимой для плавления полимера (для порошка) или для его набухания в пластификаторе.

При вращении формы материал равномерно распределяется по ее внутренней поверхности, гомогенизируется, и на горячих стенках формы образуется тонкое монокристаллическое покрытие, которое удерживается за счет адгезии и центробежных сил. Формы нагревают либо в печах газовым пламенем, либо – горячим воздухом.

После гомогенизации расплавленной композиции форму охлаждают. В зависимости от вида изделия и типа материала используют разъемные или неразъемные формы.

Основные стадии процесса.

Включают в себя четыре основные стадии (рис. 4.13):

1. Загрузка материала (рис. 4.13, а).
2. Формование изделия (рис. 4.13, б). В результате вращения формы относительно двух осей материал равномерно распределяется по внутренней поверхности формы.
3. Охлаждение отформованного изделия (рис. 4.13, в)
4. Извлечение изделия из формы (рис. 4.13, г).

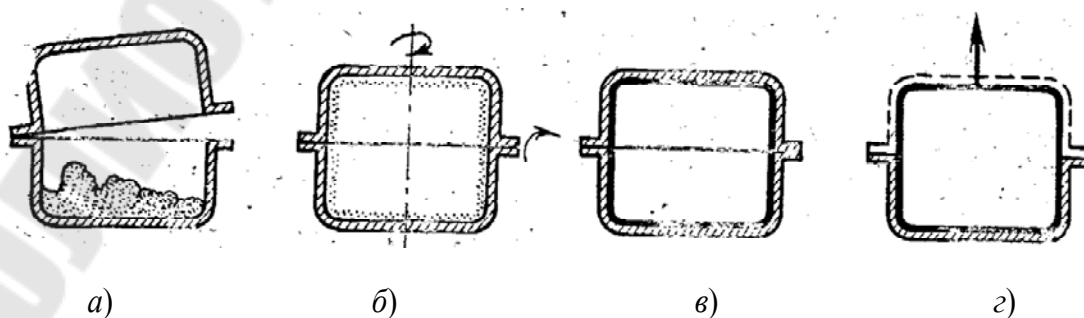


Рис. 4.13. Стадии процесса ротационного формования

Основным недостатком ротационного формования является большая продолжительность цикла.

Достоинства:

1. Простота получения изделий.
2. Стоимость получения материала в крупногабаритных изделиях ниже, чем при других методах за счет уменьшения числа операций, таких как сварка и механическая обработка.

#### 4.13. Формование изделий из листовых термопластов

Методами термоформования перерабатываются только термопласты, т. к. терморезистивные материалы при нагревании претерпевают химические превращения необратимого характера: они отверждаются, после чего их нельзя вновь перевести в пластичное состояние.

Получение изделий из листовых термопластов может осуществляться следующими методами: штампованием, формованием с проскальзыванием листа в прижимной раме, пневмоформованием и вакуум-формованием. Эти методы объединяют в одну группу – компрессионное формование.

При штамповании листовую заготовку нагревают до температуры размягчения и затем формуют при помощи матрицы и пуансона (рис. 4.14).

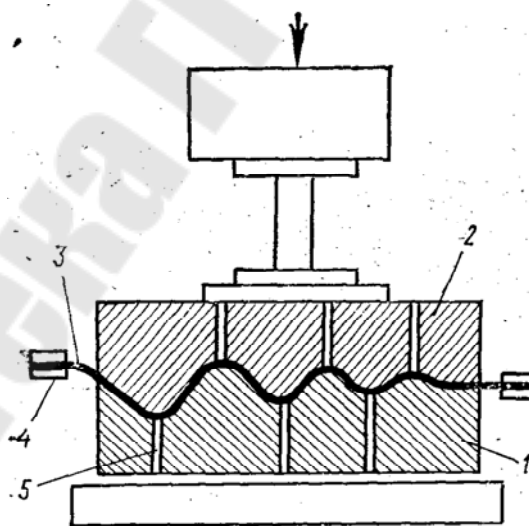


Рис. 4.14. Схема штампования:

- 1 – матрица; 2 – пуансон; 3 – лист термопласта; 4 – прижимная рама;  
5 – отверстие для выхода воздуха

При формовании с проскальзыванием листа в прижимной раме разогретый лист натягивается на выпуклую форму (пуансон). Процесс

осуществляется на пневмопрессе с верхними и нижними цилиндрами (рис. 4.15).

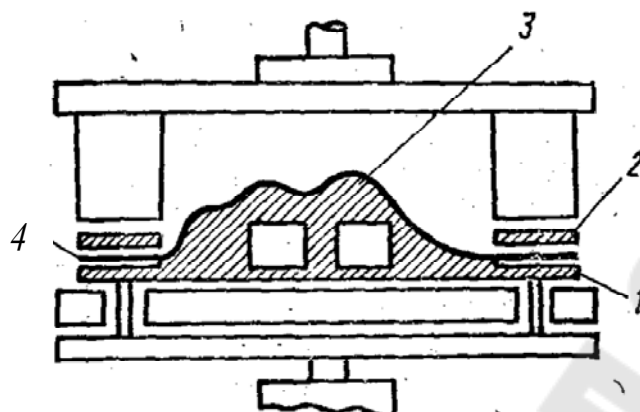


Рис. 4.15. Схема формирования с проскальзыванием листа в прижимной раме:  
1 – нижняя прижимная полурама; 2 – верхняя прижимная полурама;  
3 – пуансон; 4 – лист термопласта

При пневмоформовании листовую заготовку закрепляют по контуру формы и нагревают до температуры, при которой полимер переходит в высокопластичное состояние. После этого под действием подогретого сжатого воздуха лист оформляется в изделие (рис. 4.16).

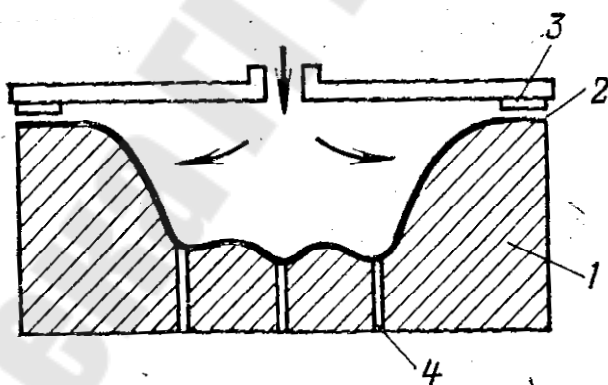


Рис. 4.16. Схема пневмоформования:  
1 – матрица; 2 – лист термопласта; 3 – прокладка;  
4 – отверстие для выхода воздуха

При вакуум-формовании лист закрепляют по контуру формы и нагревают при помощи радиационных нагревателей. Давление, необходимое для формования изделия, создается за счет разности между атмосферным давлением и разрежением, создаваемым в полости между листом и поверхностью формы (рис. 4.17).

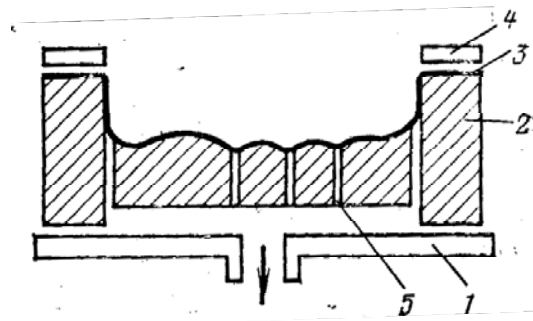


Рис. 4.17. Схема вакуум-формования:  
 1 – вакуумный стол; 2 – матрица; 3 – лист; 4 – прижимная рама;  
 5 – вакуумные каналы

В зависимости от характера расположения изделия в форме различают свободное, негативное, позитивное формование и их сочетание.

Наиболее широко применяют негативный и позитивный способы. Негативный способ (формование в матрице) дает возможность получать изделие, наружная поверхность которых в точности воспроизводит форму или рисунок внутренней поверхности матрицы. Лист укрепляют над формой или формовочной камерой при помощи прижимной рамы, которая уплотняет матрицу и предотвращает попадание воздуха в полость камеры в процессе формования (рис. 4.18).

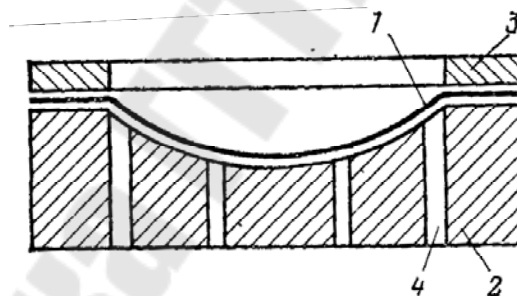


Рис. 4.18. Схема негативного формования:  
 1 – лист термопласта; 2 – вакуумная форма; 3 – прижимная рама;  
 4 – вакуумные каналы

К поверхности зажатого по контуру листа подводят нагреватель. После того, как лист размягчится, нагреватель удаляют и в формовочной камере создают разрежение. В результате чего лист втягивается в ее полость.

При позитивном формовании вместо матрицы в формовочную камеру устанавливают выпуклый оформляющий пуансон, форма, размер и рисунок которого воспроизводится на внутренней поверхности изделия (рис. 4.19).

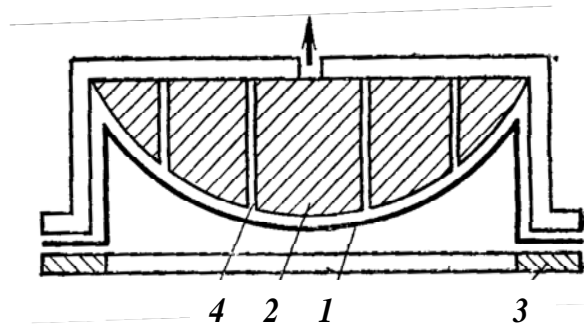


Рис. 4.19. Схема позитивного формования:

1 – лист термопласта; 2 – вакуумная форма; 3 – прижимная рама;  
4 – вакуумные каналы

Для получения изделий сложной формы используют различные комбинации описанных способов формования. Чаще всего сочетают методы вакуумного, пневматического и механического формования.

## Раздел 5. СБОРКА ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПЛАСТМАСС

### 5.1. Виды сборки изделий из пластмасс

Сборка заключается в соединении друг с другом элементов конструкций. Сборка должна обеспечивать правильное относительное расположение или относительную подвижность элементов деталей, обусловленные их назначением.

Современный уровень технологии переработки пластмасс позволяет во многих случаях изготавливать сложные монолитные изделия всевозможных размеров без сборки. Однако примерно 40 % всех изделий из пластмасс производят с применением сборочных операций. Это обусловлено рядом причин, основные из которых следующие: принципиальная невозможность изготовления составляющих деталей; отсутствие универсального материала, удовлетворяющего все требования к изделию; экономическая целесообразность отдельного изготовления деталей с последующей их сборкой.

Различают следующие способы сборки деталей из полимерных материалов: 1) прессовые соединения; 2) соединение литьем; 3) механическое крепление; 4) приформовка (замотка стыков, их заливка компаундом); 5) сварка; 6) склеивание. Наиболее распространенными способами сборки пластмассовых изделий являются сварка и склеивание. В последнее время для стыковки труб успешно применяют термоусаживающиеся манжеты из радиационно-сшитых пластических масс.

При сварке создается неразъемное соединение элементов деталей, конструкций из однородных или разнородных материалов за счет интенсификации взаимной диффузии при возрастании кинетической энергии молекул, атомов и групп атомов, свариваемых материалов. Поскольку процесс сварки носит диффузионный характер, прочность сварного шва возрастает с увеличением продолжительности сваривания. Для материалов, которые склонны к деструкции при температурах сварки (например, для ПВХ), кривая зависимости прочности сварного соединения от продолжительности сварки имеет, как правило, ярко выраженный максимум. В большинстве случаев прочность сварного шва возрастает с увеличением давления сварки.

По способу нагрева (подвода энергии для увеличения подвижности кинетических единиц соединяемых материалов) современные методы сварки подразделяют на следующие: 1) контактная сварка, или сварка нагретым инструментом; 2) сварка нагретым газом;

3) сварка с применением гамма-излучения; 4) сварка спеканием; 5) сварка экструдированным присадочным материалом; 6) сварка трением; 7) высокочастотная сварка; 8) сварка ультразвуком.

При контактной сварке соединяемые материалы нагреваются за счет тепла, подводимого специальным инструментом. Возможны два варианта контактной сварки: в одном – нагревательный инструмент контактирует с соединяемыми поверхностями, в другом – с наружными поверхностями деталей.

Сварку по первому варианту осуществляют с помощью нагретого инструмента, который может перемещаться между прижимаемыми поверхностями или оставаться в зоне соединения в виде провода, полосы, сетки и т. д.

Наиболее распространена сварка перемещаемым инструментом по второму варианту. Она позволяет сваривать пленочные и тонкие листовые материалы. Особенность сварки этих материалов состоит в том, что нагреватель одновременно используется для создания необходимого давления с одной или с обеих наружных поверхностей материала.

К разновидностям контактной сварки с перемещением инструмента относятся роликовая сварка, шовная сварка, сварка горячим утюгом, термоимпульсная сварка и др.

Применяют машины для сварки с односторонним обогревом, оснащенные регулятором температуры для предотвращения перегрева свариваемых материалов. Толщина свариваемых материалов определяет необходимую мощность нагревателей. Для каждого термопластичного материала существует некоторая критическая толщина, выше которой не удастся получить высококачественный сварной шов.

Чтобы обеспечить плотный контакт свариваемых поверхностей сварку проводят под давлением. Для этого используют пневматические приспособления, снабженные манометрами и редукторами для подключения к сети сжатого воздуха. Диапазон рабочих давлений зависит от вязкости и температуры размягчения свариваемых материалов.

Для частично-кристаллических полимеров применяют метод термоимпульсной сварки, для которого характерно быстрое охлаждение соединения, вследствие чего снижается степень кристалличности полимеров. Принцип термоимпульсной сварки пленок основан на использовании электрического нагревателя с низкой тепловой инерцией. Контактным нагревателем служит тонкая лента из металла, обладающего большим электрическим сопротивлением. По ленте пропус-



кают ток, нагревающий ее до температуры, несколько превышающей рабочую температуру сварки. Затем напряжение отключают, и лента остывает. К моменту отделения поверхности нагревателя от пленки термопластичный материал охлаждается и затвердевает, что исключает прилипание полимера к нагревателю и коробление соединенных пленок. Установки термоимпульсного типа весьма эффективны и часто используются в качестве одного из основных рабочих узлов упаковочных агрегатов.

Контактная сварка характеризуется большой мощностью нагрева и возможностью точно поддерживать на заданном уровне температуру в зоне образования шва. Поэтому ее широко используют для сварки полиэтилена и полипропилена, отличающихся относительно высокой температурой плавления и сравнительно узким интервалом вязкотекучего состояния.

Сварка нагретым газом применяется преимущественно при монтаже и ремонте трубопроводов, емкостей и других крупногабаритных изделий.

Сущность процесса сварки сводится к следующему. Газовый теплоноситель подогревается при прохождении через нагревательные элементы сварочной аппаратуры или пламенем горящего водорода до необходимой температуры, а затем подается в зону сварки. В качестве теплоносителя применяют воздух или инертные газы (в основном азот). Подогретый воздух (или инертный газ) нагревает пластмассу в месте сварки до необходимой температуры. Одновременно со свариваемыми деталями до температуры сварки нагревается сварочный пруток (присадка), с помощью которого обычно осуществляют сварку газом. Соединяемые материалы при сварке находятся в вязко-текучем состоянии. Пруток необходимо нагревать по всему сечению, чтобы размягчить материал присадки и обеспечить удобство его укладки в рабочую зону. Нагрев прутка по толщине требует длительного времени, что служит одной из причин ограниченного применения прутков больших диаметров и сравнительно низкой скорости сварки с помощью теплоносителей.

## **5.2. Сборка изделий из пластмасс склеиванием**

*Склеивание* – одно из основных условий получения прочного клевого соединения – высокая адгезия клея к склеиваемым поверхностям. Для этого, в первую очередь, необходимо хорошее смачивание клеем поверхности соединяемых деталей. При плохом смачива-

нии в состав клея вводят специальные добавки (олигомеры, полимеры и другие, несовместимые с полимерной основой клея). Кроме того, введение таких добавок способствует снижению остаточных напряжений в клеевом соединении. Это приводит к повышению их прочности и долговечности. Повышению прочности способствует также подготовка склеиваемых поверхностей, например, шерохование, химическая (травление), нанесение специальных подслоев и т. д.

При выборе клея необходимо учитывать химическую природу склеиваемых деталей. Обычно рекомендуют применять клей на полимерной основе, близкой по химической природе к соединяемым материалам. Существуют универсальные клеи (полиэпоксидные, полиуретановые и др.), пригодные для склеивания практически любых материалов. Для склеивания деталей из реактопластов обычно применяют терморезистивные клеи. Так, фенопласты склеивают фенолоформальдегидными, эпоксидными и полиуретановыми клеями. Термопласты в большинстве случаев требуют специальной подготовки поверхности – химической (обработка кислотами, щелочами, аминами, солями и т. д.), воздействия радиоактивного излучения, коронного разряда, тлеющего разряда и т. п.

*Склеивание термопластов.* Фторсодержащие полимеры без предварительной подготовки поверхностей склеивают клеями на основе полиизобутилена или бутилкаучука. Для соединения деталей из политетрафторэтилена используют смесь политетрафторэтилена и олиготетрафторхлорэтилена при высокой температуре и небольшом давлении. Для предварительной подготовки поверхности фторсодержащих полимеров применяют химические способы (обработки натрий-нафталиновым комплексом и т. д.). После такой подготовки, например, политетрафторэтилен можно склеивать со сталью эпоксидным клеем при 200 °С.

Склеивание деталей из полиэтилена требует предварительной обработки поверхностей химически активными веществами или пламенем. В качестве клеев используют эпоксидные, полиуретановые и фенолокаучуковые композиции, отверждающиеся при температуре ниже температуры размягчения полиэтилена.

При склеивании деталей из полиамидов также необходима предварительная подготовка поверхностей. Обычно она заключается в нанесении специального подслоя (например, стеклянной ткани, отвержденного фенолоформальдегидного клея и т. д.). Для склеивания применяют главным образом эпоксидные клеи. Для склеивания поли-

амидов без предварительной подготовки поверхностей применяют клеи на основе каучуков или простых эфиров поливинилового спирта.

Пленки полиэтилентерефталата склеивают эпоксидными и полиуретановыми клеями. Поверхность пленок предварительно обрабатывают щелочами, аминами и другими соединениями.

*Склеивание реактопластов.* Поверхности деталей из реактопластов обычно подвергают механической обработке, реже – химической. После нанесения клея на поверхность конструктивных деталей их выдерживают некоторое время для удаления растворителя, а затем соединяют склеиваемые детали. Для склеивания реактопластов применяют фенольные клеи, полиуретановые, эпоксидные и др.

При конструировании клеевых соединений стремятся к созданию максимальной поверхности контакта. Обычно детали склеивают внахлестку, плоские материалы (листы, пленки) – встык с накладкой. В тех случаях, когда необходимо усилить сопротивление соединения внешним нагрузкам, рекомендуются другие виды клеевых соединений: склеивание с двойной нахлесткой или встык с двумя накладками. При склеивании необходимо выбирать такие конструкции клеевых швов, которые обеспечивают минимальные остаточные напряжения в соединении.

## **Раздел 6. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПОЛИМЕРОВ. ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

Производство изделий из пластмасс такими основными способами, как литье под давлением, экструзия, прессование, термоформование, все более расширяется, созданы высокопроизводительные предприятия, где возможны высокая механизация, автоматизация и организация производства.

В состав предприятия входят следующие вспомогательные службы: конструкторско-технологическое бюро; ЦЗЛ и экспериментальная лаборатория (цех); РМЦ; ремонтно-строительный цех с участком изготовления тары; парк пресс-форм; складское хозяйство с окрасочным и другими отделениями.

В основе правильной организации производства изделий из пластмасс на современном техническом уровне лежат следующие принципы:

- планирование производства по группам, видам изделия, видам перерабатываемых полимеров, согласованное со спросом;
- максимальная механизация и автоматизация основных технологических операций;
- максимальная механизация вспомогательных операций по транспортировке, загрузке, выгрузке сырья, полуфабрикатов и готовых изделий;
- автоматизация технологических режимов (температура, время, давление и другие параметры);
- современное и эффективное использование возвратных отходов;
- окраска сырьевых пластмасс в процессе производства в соответствии с запросами потребителей;
- создание непрерывных и автоматизированных процессов;
- высокий уровень санитарно-гигиенических и эстетических условий труда.

Одним из основных путей, позволяющих при изготовлении мелких и средних серий обеспечить организацию производства, присущую крупносерийному и массовому производствам, является групповой метод формования деталей.

Предложенными системами классификации деталей и оснастки определено, что все детали из реактопластов могут быть сведены в 20, а из термопластов – в 65 групп. Таким образом, в производственных условиях можно ограничиться разработкой 25 групповых технологических процессов. На первом листе технологической карты помеща-

ется чертеж группового блока, вид формовкладыша к нему и кратко перечисляются характеристики блока и основные группы деталей, оформляемых на данном блоке.

С целью построения по форме единых групповых техпроцессов для всех групп деталей приводятся рекомендации и обоснования выполнения переходов при изготовлении деталей из реактопластов прямым прессованием и пресс-литьем, а также деталей из термопластов литьем под давлением.

Индивидуальные режимы на каждое изделие заносятся на специальную форму сводной операционной карты режимов, которая составлена так, что по каждому техпроцессу для различных изделий, входящих в группу, заполняется только одна строчка, к чему и сводится работа технолога по составлению технологической документации при включении в группу новых изделий. Такая документация для группового метода по объему во много раз меньше обычной, что значительно упрощает нормирование и т. д.

Для правильной организации производства и выявления его резервов имеет очень важное значение методика объективной оценки уровня организации производства и труда.

Мероприятия по организации производства и технике безопасности взаимосвязаны. На практике немислима хорошая организация производства без наличия безопасных и нормальных санитарно-гигиенических условий труда. В организации ТБ на предприятиях по переработке пластмасс решающее значение имеют следующие мероприятия: борьба с воздействием вредных веществ; предупреждение ожогов; электробезопасность; предупреждение производственного травматизма; предупреждение взрывов и пожаров.

В различных цехах по переработке пластмасс приходится иметь дело с теми или иными вредными веществами. Вредные вещества могут поражать кожу, дыхательные пути, нервную систему, кровообращение, а также при длительном воздействии вызывать острые и хронические заболевания.

Исключение непосредственного контакта работающих с вредными условиями и веществами, а также чистота воздуха рабочих помещений достигается следующими мероприятиями:

- герметизацией аппаратов и коммуникаций;
- местной и общей приточно-вытяжной вентиляцией;
- механизацией и автоматизацией производственных операций и процессов;

- заменой вредных веществ менее вредными;
- обеспечение рабочих ИСЗ: противогазами, респираторами, кислородно-изолирующими приборами, защитными очками, перчатками, смазкой для рук (биологические перчатки), спецодеждой.

Противопожарные мероприятия на предприятиях по переработке пластмасс организуются в зависимости от степени взрывоопасности и пожароопасности используемых в производстве полимеров и вспомогательных продуктов.

Процессы переработки пластмасс должны быть организованы так, чтобы исключить загрязнение воздуха, почвы и водоемов вредными веществами, перерабатываемыми материалами и отходами производства выше норм, утвержденных в установленном порядке. Отходы производства, которые могут оказать вредное воздействие на окружающую среду должны быть обезврежены.

## Литература

1. Гуль, В. Е. Структура и механические свойства полимеров : учеб. пособие для вузов / В. Е. Гуль, В. Н. Кулезнев. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Высш. шк., 1972. – 320 с.
2. Чанг, Дей Хан. Реология в процессах переработки полимеров / Чанг Дей Хан. – Москва : Химия, 1979. – 320 с.
3. Яхно, О. М. Основы реологии полимеров / О. М. Яхно. – Киев : [б. и.], 1976.
4. Копылов, В. В. В мире полимеров / В. В. Копылов. – Москва : Знание : [б. и.], 1983.
5. Воробьев, В. А. Технология полимеров / В. А. Воробьев. – Москва : Высш. шк., 1980.
6. Кацмельсон, М. Ю. Полимерные материалы: свойства и применение : справочник / М. Ю. Кацмельсон, Г. А. Балаев. – Ленинград : Химия, 1982.
7. Холмс-Уолкер, В. Переработка полимерных материалов / В. Холмс-Уолкер. – Москва : Химия, 1979.
8. Производство и переработка пластических масс и синтетических смол. – Москва : [б. и.], 1986.
9. Басов, Н. И. Расчет и конструирование формующего инструмента для изготовления изделий из полимерных материалов / Н. И. Басов, В. А. Брагинский, Ю. В. Козанков. – Ленинград : Химия, 1991.
10. Бортников, В. Г. Основы технологии переработки пластических масс / В. Г. Бортников. – Ленинград : Химия, 1983.
11. Брацыхин, Е. А. Технология пластических масс / Е. А. Брацыхин, З. С. Шульгина. – Ленинград : Химия, 1982.

Учебное электронное издание комбинированного распространения

Учебное издание

# **ОБРАБОТКА ДАВЛЕНИЕМ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

## **Пособие**

**по одноименной дисциплине  
для студентов специальности 1-36 01 05  
«Машины и технология обработки  
материалов давлением»  
заочной формы обучения**

Авторы-составители: **Бобарикин** Юрий Леонидович  
**Швецов** Александр Николаевич

Редактор

*Н. И. Жукова*

Компьютерная верстка

*Н. В. Широглазова*

Подписано в печать 15.01.07.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.

Цифровая печать. Усл. печ. л. 3,72. Уч. - изд. л. 3,92.

Изд. № 11.

E-mail: [ic@gstu.gomel.by](mailto:ic@gstu.gomel.by)

<http://www.gstu.gomel.by>

Издатель и полиграфическое исполнение:

Издательский центр

Учреждения образования «Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого».

ЛИ № 02330/0133207 от 30.04.2004 г.

246746, г. Гомель, пр. Октября, 48, т. 47-71-64.