

Министерство образования Республики Беларусь

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

Кафедра «Обработка материалов давлением»

**В. А. Ковтун**

**ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ  
И НАПОЛНИТЕЛИ: СВОЙСТВА,  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ  
ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ**

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ  
по дисциплине «Обработка давлением полимерных  
материалов» для студентов специальности 1-36 01 05  
«Машины и технология обработки материалов давлением»  
дневной формы обучения**

Гомель 2010

УДК 678(075.8)  
ББК 24.7я73  
К56

*Рекомендовано к изданию научно-методическим советом  
механико-технологического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого  
(протокол № 4 от 15.09.2009 г.)*

Рецензент: канд. техн. наук, доц. каф. «Физика» ГГТУ им. П. О. Сухого *И. И. Злотников*

**Ковтун, В. А.**  
К56 Полимерные материалы и наполнители: свойства, технологические режимы обработки давлением : учеб.-метод. пособие по дисциплине «Обработка давлением полимерных материалов» для студентов специальности 1-36 01 05 «Машины и технология обработки материалов давлением» днев. формы обучения / В. А. Ковтун. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2010. – 99 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://lib.gstu.local>. – Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-985-420-950-0.

Рассмотрены вопросы состояния и перспективы развития производства полимерных материалов на современном этапе, их групповой классификации, а также структуры, свойства и технологии обработки полимерных материалов давлением. Представлена классификация наполнителей полимерных матриц, их свойства и области применения.

Для студентов специальности 1-36 01 05 «Машины и технология обработки материалов давлением» дневной формы обучения.

**УДК 678(075.8)  
ББК 24.7я73**

**ISBN 978-985-420-950-0**

© Ковтун В. А., 2010  
© Учреждение образования «Гомельский  
государственный технический университет  
имени П. О. Сухого», 2010

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Термин «полимерные материалы» (или «пластмассы») объединяет весьма значительный по объему и чрезвычайно обширный по номенклатуре и способам применения класс синтетических материалов с разнообразными физическими, технологическими, потребительскими и эксплуатационными свойствами. В настоящее время полимерные материалы используются во всех отраслях промышленности, сельского хозяйства, в обеспечении комфортной жизнедеятельности людей.

Полимерные материалы характеризуются сложным составом, обязательной частью которого, матрицей, является синтетический или натуральный полимер. Кроме того, в полимерные материалы могут входить различные наполнители и добавки, обеспечивающие те или иные технологические и функциональные свойства: текучесть, пластичность, плотность, прочность, долговечность, негорючесть, тепло- или электропроводность, звукопоглощение и др.

Успехи развития производства полимерных материалов можно объяснить многочисленными причинами, среди которых можно выделить следующие:

– *во-первых*, технология получения полимерных материалов позволяет варьировать их составом и свойствами, создавая пластмассы с комплексом заранее заданных и специфических функциональных характеристик, не встречающихся у традиционных природных материалов. Так, например, изменяя вид полимера, состав, морфологию и содержание наполнителей и различных целевых добавок, можно получать полимерные материалы, превосходящие по прочности металлы и их сплавы, обладающие одновременно теплоизолирующими и регулируемыми электропроводящими качествами. При этом такие материалы будут легкими, коррозионно-стойкими и долговечными;

– *во-вторых*, основное сырье для большинства полимерных материалов широко распространено и недорого. Главным образом, это продукты нефте- и газопереработки, из общего объема которых на полимеры приходится всего около 6 %;

– *в-третьих*, технология синтеза полимеров и производства полимерных материалов не требует значительных затрат энергии, а строительство предприятий полимерной промышленности и их эксплуатация окупается значительно быстрее, чем, например, в металлургической, силикатной и других отраслях, производящих материалы;

– *в-четвертых*, полимерные материалы перерабатываются в изделия высокопроизводительными и высокорентабельными методами, что обеспечивает устойчивый рост спроса на поступающее на рынок полимерное сырье.

Следует отметить, что сочетание полимеров, их смесей и модификаций, а также реакционноспособных мономеров или олигомеров, превращающихся в полимеры в месте эксплуатации или в процессе технологической обработки при формовании изделий, с другими материалами играет важнейшую роль в разработке композиционных материалов и остается в настоящее время важнейшим способом создания новых типов таких материалов.

# Глава 1

## СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В настоящее время мировое производство полимерных материалов составляет порядка 180 млн т, в том числе в государствах Северной Америки, Западной Европы, в странах Азии и Океании производится примерно по 50 млн т.

Последние 10–15 лет прирост производства синтеза полимеров в таких странах как Индия, Пакистан, Малайзия, Китай происходит быстрее, чем в государствах Европы и Северной Америки. Вместе с тем по потреблению полимерных материалов на душу населения экономически развитые страны намного опережают развивающиеся страны (табл. 1.1), причем кратность опережения по прогнозам сохранится вплоть до 2015 г.

Таблица 1.1

### Объем потребления полимерных материалов

Год	Потребление на душу населения, кг/год					
	Западная Европа	Северная Америка	Япония	Азия	Мировое потребление	Россия
1980	40	45	50	2	10	20
2003	98	101	84	17	28	23
2015 (прогноз)	146	152	115	32	44	40

Совокупное потребление полимерных материалов на душу населения в регионах мира постоянно растет в процентном соотношении явно быстрее совокупного валового внутреннего продукта. Этому способствуют новые технологии полимерных материалов, благодаря которым расширяются области их применения, причем главным образом за счет вытеснения традиционных металлов, сплавов и керамики. Такая тенденция отмечается в автомобилестроении, аэрокосмической отрасли, судостроении и строительстве.

В последнее время изменяются направления развития производства полимерных материалов. Если ранее делался упор на создание новых полимеров с существенно повышенной теплостойкостью и улучшенными теплодеформационными характеристиками, то в настоящее время интенсивно развивается производство групп термопластичных полимеров инженерно-технического назначения (поли-

карбонат, полибутилентерефталат, полиэтилентерефталат, полиамид, полиоксиметилен, АБС-пластики, полиметилметакрилат), а также специального конструкционного назначения (полиарилен, полиэфирсульфон, полиимид, полифениленсульфон). Таким образом, прогнозируемое развитие полимерных материалов требует создания новых производств, разработки новых технологических процессов и разновидностей оборудования для синтеза полимеров, что невозможно без весьма значительных инвестиций в отрасль.

К настоящему моменту сформировалось направление модификационного совершенствования положительно зарекомендовавших себя крупнотоннажных термопластичных полимеров общетехнического назначения, а также реактопластов со специальными свойствами, осуществляется поиск и разработка новых эффективных технологических решений, выполненных с учетом существенно возросших экологических требований.

Следует отметить, что в настоящее время доминирующей является группа полимеров общетехнического назначения: полиэтилен, линейный полиэтилен низкой плотности, поливинилхлорид, полистирол, а также инженерно-технические материалы.

Улучшение комплекса свойств крупнотоннажных полимеров было достигнуто в результате оптимизации условий синтеза, направленного регулирования молекулярной массы и молекулярно-массового распределения на нано-, микро- и макроуровнях. Значительную роль в решении этой задачи сыграло совершенствование процессов производства пластмасс на основе улучшенных полимерных связующих и усовершенствования способов подготовки сырьевых компонентов, методов и приемов смешивания композиций.

Таким образом, именно совершенствование технологии полимерных материалов позволило улучшить качество, расширить ассортимент и увеличить объемы производства рентабельных синтетических пластиков.

По отраслям применения полимерные материалы располагаются весьма неравномерно (табл. 1.2).

Таблица 1.2

**Потребление полимерных материалов по отраслям**

<b>Область применения</b>	<b>Процент потребления</b>
Упаковка и тара	34,0
Строительство	18,0
Транспорт	10,0

Область применения	Процент потребления
Электроника	8,0
Хозяйственные товары	8,0
Мебель	7,0
Сельское хозяйство	2,6
Одежда	2,0
Прочее	10,4

Европейская статистика свидетельствует, что более трети объема производства полимеров расходуется на тару и упаковку, т. е. на производство таких изделий, потребительская ценность которых теряется задолго до утраты полимерным материалом, из которого они изготовлены, своих исходных свойств.

Таким образом, приблизительно из 45 млн т полимерных материалов, которые ежегодно расходуются странами Европы, почти 25 млн т представляют собой вполне реальное вторичное сырье, подлежащее возврату в технический оборот.

До недавнего времени использование вторичного полимерного сырья являлось прерогативой предприятий по производству изделий. Однако расширение ассортимента возвращаемых в технический оборот пластиков, а также отработавших свой ресурс изделий (трубы, пленки, профили, емкости) привели к необходимости разработки новых химико-технологических процессов восстановления свойств вторичных полимерных материалов, в том числе содержащих неорганические фракции, и создание технологии смесевых составов из полимеров с различной степенью совместимости. В конечном счете сформировалось самостоятельное направление – рециклирование пластических масс, основанное на разработке специфических комбинированных технологических процессов. Рециклинг огромного количества полимерных материалов, измеряемого десятками миллионов тонн, способствует решению не только сырьевых, но и экологических проблем, в частности, защиты окружающей среды.

Особым разделом проблемы использования вторичного полимерного сырья являются вопросы его химической переработки и извлечения энергии. Химические процессы деполимеризации позволяют получать сырье для производства мономеров, олигомеров и иных химических сырьевых материалов с помощью экономически оправданных методов. Энергетическим подходом ко вторичному сырью

решаются вопросы использования пластмасс, деструктированных настолько, что ни один из способов восстановления их исходных свойств либо неприемлем, либо экономически неэффективен.

Ассортиментная структура производства полимерных материалов в настоящее время распределяется приблизительно следующим образом: около 85 % выпускаемых термопластичных полимеров приходится на марки общетехнического назначения (полиэтилены низкой и высокой плотности, полипропилен, поливинилхлорид, полистирол), около 14 % приходится на термопластичные полимеры общетехнического назначения (полиамид, поликарбонат, полиэтилентерефталат, полибутадиентерефталат) и около 1 % на другие.

Крупнотоннажные полимеры являются основой для производства широкого спектра конкретных марок полимерных материалов со специальными характеристиками (деформационно-прочностными, теплофизическими, электротехническими, реологическими), а также некоторыми технологическими и эксплуатационными свойствами (литьевые, экструзионные, негорючие, прозрачные).

Особенности производства полимерных материалов в Республике Беларусь заключаются в следующем:

– *во-первых*, мощности по производству большинства термопластов используются на 93–96 %, что свидетельствует об острой необходимости строительства новых предприятий синтеза;

– *во-вторых*, в потреблении ряда марок термопластичных полимеров значительное место занимает импортируемая продукция.

Таким образом, в совершенствовании отечественных технологических процессов, выведении полимерной промышленности на высокий технический уровень, в производстве продукции, конкурентоспособной на международном рынке, решающую роль играют специалисты-технологи – создатели высокоэффективных технологических процессов и оборудования, организаторы производства.



## Глава 2

# ГРУППОВАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Классификация полимерных материалов может быть проведена на основании различных химических, физических, механических, рецептурных, эксплуатационных, потребительских и других признаков.

Учитывая то, что полимерные материалы состоят из полимерного связующего и комплекса компонентов, отличающихся от полимера своим химическим строением, можно использовать две группы признаков:

- 1) для полимеров;
- 2) для материалов на их основе, к которым можно отнести пластические массы и полимерные композиционные материалы.

Полимеры по **происхождению** можно разделить на природные, синтетические, искусственные.

Типичными представителями *природных* полимеров являются целлюлоза, крахмал, натуральный каучук.

*Синтетические* полимеры представляют собой продукт синтеза – целенаправленного получения сложных веществ из более простых, который основан на закономерностях их молекулярного строения и реакционной способности.

*Искусственные* полимеры получают путем модифицирования природных полимеров. Например, нитроцеллюлозу получают путем нитрирования целлюлозы.

По **химическому составу макромолекул** полимеры можно разделить на органические, неорганические, элементоорганические.

К *органическим* полимерам относятся соединения, молекулы которых содержат атомы углерода, водорода, азота, кислорода, серы и галогенов, входящие в состав главной цепи и боковых групп.

К *неорганическим* полимерам относятся соединения, которые не содержат в своем составе макромолекулы атомов углерода.

В *элементоорганических* полимерах главная молекулярная цепь состоит из атомов углерода и гетероатомов (за исключением азота, кислорода и серы) или атомов неорганических элементов, а боковые группы включают атомы углерода или гетероатомы (за исключением азота, кислорода и серы и галогенов), которые непосредственно соединены с атомами цепи.

По **характеру строения полимерных цепей** различают полимеры *линейного, разветвленного и сетчатого строения*.

По **характеру поведения при нагревании** полимеры можно подразделить на термопластичные (термопласты) и термореактивные (реактопласты).

*Термопластичные* полимеры при нагревании сохраняют химическое строение. При этом вследствие постепенного ослабления физических межмолекулярных связей они размягчаются и расплавляются. При охлаждении межмолекулярные связи восстанавливаются, а расплав, т. е. размягченный полимер, затвердевает. Таким образом полимер восстанавливает исходные физические свойства. Данная особенность позволяет многократно расплавлять (размягчать) и охлаждать синтезированные термопласты, что является основой для их дальнейшей переработки в изделия.

*Термореактивные* полимеры в процессе нагревания могут размягчаться, а при дальнейшем повышении температуры разрушаются в результате разрушения ковалентных химических связей. При этом изменяется химическое строение и состав полимера, который необратимо утрачивает исходные свойства. В процессе получения изделий реактопласты перерабатываются однократно.

По **способу синтеза** полимеры подразделяются на получаемые по реакциям *цепной полимеризации, ступенчатой полимеризации, поликонденсации*, а также получаемые с использованием *химических реакций модификации* синтетических или природных полимеров.

По **особенностям химизма процесса полимеризации** различают полимеры, полученные *радикальной полимеризацией, ионной полимеризацией, ионно-координационной полимеризацией, сополимеризацией, реакцией в цепях*.

По **способу полимеризации** полимеры можно классифицировать на полученные *газофазной полимеризацией в массе, жидкофазной гомогенной или гетерогенной полимеризацией в массе, полимеризацией в суспензии, полимеризацией в эмульсии*.

Пластические массы и полимерные композиционные материалы по **виду связующего** подразделяются на *термопластичные (термопласты) и термореактивные (реактопласты)*.

По **наличию и содержанию наполнителей** их можно классифицировать на *ненаполненные* (содержат только добавки), *низконаполненные* (до 20 %), *высоконаполненные* (до 95 %).

По **морфологии** пластические массы и полимерные композиционные материалы подразделяются на *дисперснонаполненные*, *волоконнаполненные*, *армированные*.

По **назначению** пластические массы и полимерные композиционные материалы можно разделить на *общетехнические*, *инженерно-технические*, *высокопрочные конструкционные*, а также пластические массы и полимерные композиционные материалы *со специальными свойствами*.

## Глава 3

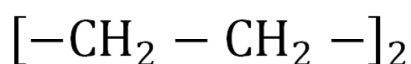
# СТРУКТУРА, СВОЙСТВА И ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Механические (табл. П.1.1) и физические (табл. П.2.1, П.3.1) свойства, а также химическая стойкость полимеров зависят от их химического строения, физического состояния и структуры. Такие свойства полимеров как прочность, тепло-, термо- и морозостойкость определяют температурные границы их эксплуатации. Верхнюю границу характеризует потеря теплостойкости либо термостойкости, а нижнюю – хрупкость или морозостойкость. Теплостойкость полимерных материалов, в свою очередь, зависит от приложенной нагрузки и длительности ее воздействия. Как правило, без размягчения и хрупкого разрушения надежно эксплуатируются полимерные материалы в температурном интервале между температурой стеклования и температурой хрупкости.

При получении полимерных композиционных материалов (ПКМ) полимеры используются либо в чистом виде (в форме порошков, гранул, листов, пленок), либо в виде связующих. Полимерное связующее представляет собой двух- или многокомпонентную систему, состоящую из синтетической смолы (полимерной либо олигомерной составляющей) и отвердителей или инициаторов, катализаторов, ускорителей отверждения. Часто полимерные связующие содержат также пассивные или активные растворители (разбавители), красители, пластификаторы, стабилизаторы и другие компоненты (смазки, антипирены, антистатика, антимикробные агенты), вводимые с целью придания связующим и ПКМ необходимых технологических и эксплуатационных свойств. От полимерной матрицы зависят тепло- и влагостойкость, стойкость к действию агрессивных сред, прочностные, диэлектрические и другие свойства ПКМ. Типом полимерной матрицы определяются также методы переработки ПКМ в изделия. Поэтому полимерную матрицу для ПКМ необходимо выбирать исходя из условий эксплуатации изделия.

### 3.1. Полиэтилен

**Полиэтилен** – линейный полимер с химической формулой



В зависимости от метода полимеризации различают полиэтилены высокого и низкого давления. Промышленностью разных стран

выпускаются следующие марки полиэтилена: высокого давления – ПЭВД (СНГ), петротен (США), алкатен (Великобритания), хостален (Германия), стафлен (Япония), лотрен (Франция), фертен (Италия); низкого давления – ПЭНД (СНГ), бакелит (США), карлона (Великобритания), хостален (Германия), хей-жекс (Япония), манолен (Франция) и др.

### *Свойства*

Полиэтилен обладает низкими газо- и паропроницаемостью. При нагревании на воздухе нестабилизированный полиэтилен подвергается термоокислительной деструкции, под влиянием солнечной радиации – термостарению. Термическая деструкция происходит выше температуры 563 К.

Полиэтилен высокого давления имеет наиболее разветвленные макромолекулы, что обуславливает особенности его механических (табл. П.1.1), физических (табл. П.2.1, П.3.1) и химических свойств. Температура хрупкости лежит в интервале от 153 до 198 К, с ростом молекулярной массы она понижается, а предел прочности, относительное удлинение при разрыве и удельная ударная вязкость увеличиваются. Газопроницаемость полиэтилена высокого давления в 4–8 раз выше, а химическая стойкость ниже, чем у полиэтилена низкого давления.

У макромолекул полиэтилена низкого давления ответвлений меньше и, как следствие, он имеет более высокие механическую прочность (табл. П.1.1), теплостойкость (табл. П.2.1) и химическую стойкость, чем полиэтилен высокого давления. Полиэтилен устойчив при комнатной температуре к действию разбавленных серной и азотной кислот, концентрированной соляной, плавиковой, фосфорной и органических кислот, растворов нейтральных кислых и основных солей, солей-окислителей, аммиака, аминов, перекиси водорода. В органических растворителях полиэтилен при комнатной температуре несколько набухает. Со щелочами любой концентрации он не реагирует. В воде при комнатной и повышенных температурах не растворяется. Водопоглощение за 30 сут. для полиэтилена высокого давления составляет 0,022 %, для полиэтилена низкого давления – от 0,005 до 0,04 %, для полиэтилена среднего давления – 0,01 %. Дымящая серная и 50%-я азотная кислоты при комнатной температуре заметно действуют на полиэтилен.

Разрушается полиэтилен при комнатной температуре жидкими и газообразными фтором и хлором. Бром и йод диффундируют в него.

При температуре 353 К полиэтилен растворяется в алифатических углеводородах и их галогенпроизводных, не растворяется в ацетоне, этиловом спирте, глицерине и некоторых растительных маслах. В интервале температур от 363 до 373 К серная и азотная кислоты быстро разрушают полиэтилен.

#### *Технология переработки*

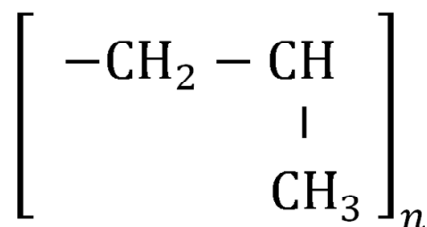
Полиэтилен легко перерабатывается всеми известными для термопластичных полимеров методами. Режимы переработки во многом определяются методом получения полимера.

Так, полиэтилен высокого давления наиболее часто перерабатывается *литьем под давлением* при температурах от 423 до 473 К и давлении 100 МПа, *экструзией* при температурах от 383 до 453 К и давлении от 8 до 10 МПа, *прессованием* при температурах от 403 до 423 К и давлении от 4 до 10 МПа. Полиэтилен высокого давления легко сваривается и поддается механической обработке. Оптимальные параметры для каждого метода переработки во многом зависят от молекулярной массы полимера.

Полиэтилен низкого давления наиболее часто перерабатывается *экструзией* при температурах от 453 до 533 К и давлении от 7 до 10 МПа, *литьем под давлением* при температурах от 473 до 543 К и давлении 120 МПа, *прессованием* при температурах от 418 до 453 К и давлении от 6 до 10 МПа, легко сваривается и поддается механической обработке. Усадка полиэтилена низкого давления при переработке литьем под давлением составляет от 1 до 4 %. Оптимальная температура переработки зависит от молекулярной массы полимера.

### 3.2. Полипропилен

**Полипропилен** – линейный полимер с химической формулой



Промышленностью выпускаются следующие марки полипропилена: про-факс, поли-про, олеформ (США), моплен (Италия), гостален (Германия), пропален (Великобритания), данлай, донбанд (Япония) и др.

### *Свойства*

Полипропилен не имеет характерного запаха, температура хрупкости находится в пределах от 258 до 265 К. Он отличается высокой стойкостью к многократным изгибам, износостойкостью, менее, чем полиэтилен, подвержен растрескиванию при воздействии агрессивных сред. Полипропилену характерны низкие адгезия, газо- и паропроницаемость. Механические и физические свойства полипропилена приведены в табл. П.1.1, П.2.1, П.3.1. Полипропилен в чистом виде физиологически безвреден. Его термическая деструкция в отсутствие воздуха становится заметной при температуре 573 К.

Полипропилен устойчив к действию кислот, не обладающих сильными окислительными свойствами, разбавленных и концентрированных растворов едкого калия и едкого натра. В среде воды изделия на основе полипропилена можно кипятить и стерилизовать вплоть до температуры 403 К. Водопоглощение за 6 мес. составляет менее 0,5 % при температуре 293 К и менее 2 % при 333 К. Концентрированная серная кислота слабо разрушает полипропилен при комнатной температуре и вызывает его деструкцию при температуре 333 К и продолжительном контакте. Полипропилен неустойчив к действию сильных окислителей: 30%-я перекись водорода вызывает деструкцию полипропилена при температуре 333 К и продолжительном контакте. Полипропилен более чувствителен к действию кислорода, чем полиэтилен.

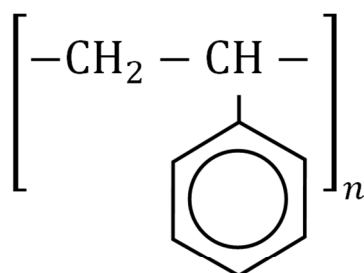
В ароматических углеводородах (бензоле, толуоле и др.) полипропилен набухает при комнатной температуре и растворяется выше температуры 373 К.

### *Технология переработки*

Полипропилен наиболее часто перерабатывается *литьем под давлением* при температурах от 473 до 493 К и давлении от 35 до 42 МПа, экструзией, вакуум- и пневмоформованием, раздувом, сваркой, прессованием, напылением и другими методами. Он легко механически обрабатывается резкой и точением на обычных металлообрабатывающих станках.

### 3.3. Полистирол

**Полистирол** – линейный полимер с химической формулой



Выпускаются промышленностью следующие марки: полистирол блочный марок ПСМД и ПСМ (СНГ), полистирол суспензионный марок ПС-С и ПС-СП (СНГ), полистирол эмульсионный марок ПСЭ-1 и ПСЭ-2 (СНГ), а также сирен, дилен, люстрекс, полистрон, стирекс (США), каринекс, дистрен, стиросел, стирон (Великобритания), полистирол, стирофлекс, стирофол, вестирол (Германия), гедекс, родолин, стиварин (Франция), рестироло, рефлит, сикостирол (Италия).

#### *Свойства*

Полистирол – хрупкий полимер, температура морозостойкости составляет 233 К. Он обладает высокой радиационной стойкостью, большим коэффициентом преломления, легко подвергается старению. Термоокислительная деструкция полистирола начинается при температуре около 473 К, термическая – выше 539 К. Остальные механические и физические свойства полистирола приведены в табл. П.1.1, П.2.1, П.3.1.

Полистирол устойчив к действию галогенводородных, некоторых минеральных и органических кислот, щелочей, глицерина, трансформаторного масла. Он нерастворим в алифатических углеводородах, низших спиртах, простых эфирах, фенолах, воде. Водопоглощение составляет 0,2–0,3 %.

Разрушается полистирол концентрированной азотной и ледяной уксусной кислотами, значительно набухает в бензине и керосине, хорошо растворяется в мономере, ароматических и хлорированных углеводородах, сложных эфирах, кетонах, сероуглероде, пиридине.

#### *Технология переработки*

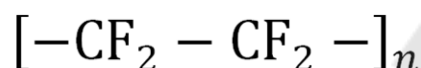
Полистирол преимущественно перерабатывается *литьем под давлением* при температуре от 433 до 503 К и давлении от 80 до 120 МПа,



усадка составляет от 0,4 до 0,8 %; *экструзией* при температуре цилиндра от 373 до 463 К и температуре формующей головки от 373 до 433 К; *вакуум- и пневмоформованием*. Режимы переработки зависят от метода получения полимера, размера и конфигурации изделия. Полистирол склеивается и сваривается, но его нельзя перерабатывать в листы и крупногабаритные изделия.

### 3.4. Политетрафторэтилен и его модификации

**Политетрафторэтилен** – линейный полимер с химической формулой



Промышленностью разных стран выпускаются следующие марки политетрафторэтилена: фторопласт-4, фторлон-4 (СНГ), тефлон (США), флюон (Великобритания), гостафлон (Германия), сорефлон (Франция), алгофлон (Италия), полифлон (Япония). В СНГ выпускаются модификации фторопласта-4: фторопласт-4Д, фторопласт-4ДП, фторопласт-4ДПТ, фторопласт-4М, фторопласт-4МБ, фторопласт-4МБ-2, фторопласт-4МП, фторопласт-40, фторопласт-40Д, фторопласт-40ДП, фторопласт-40Б, фторопласт-40ШБ, фторопласт-42, фторопласт-4НА и др.

#### *Свойства*

Фторопласт-4 выше температуры разложения 688 К не переходит в вязкотекучее состояние, а разлагается с выделением большого количества летучих продуктов. Он обладает низким коэффициентом трения, свойствами самосмазки, для него характерна ползучесть под действием даже небольших механических нагрузок при комнатной температуре. Механические свойства приведены в табл. П.1.1. Диэлектрические свойства фторопласта-4 (табл. П.3.1) не зависят от частоты тока и температуры. Фторопласт-4 наиболее химически стоек из всех полимеров, абсолютно стоек в тропических условиях, не подвержен действию грибков, не совсем устойчив к действию радиационного излучения (при интегральной дозе  $10^4$  рад наблюдается заметное ухудшение механических свойств).

Для фторопласта-4 характерна высокая химическая стойкость к действию высококонцентрированных и разбавленных кислот и щелочей, сильных окислителей. Ни один из известных растворителей не растворяет фторопласт-4 при температуре менее 533 К. Водой при

кратковременном погружении фторопласт-4 не смачивается, но при длительной выдержке в воде смачивается хорошо.

Фторопласт-4 разрушается под действием расплавленных щелочных металлов и их комплексных соединений с аммиаком, нафталином, пиридином, а также под действием трехфтористого хлора, газообразного фтора при температуре 423 К или повышенном давлении. В жидких фторуглеродах фторопласт-4 набухает при температуре более 573 К, во фтор- и хлорсодержащих газах слегка набухает при температуре 293 К. Со щелочноземельными металлами и их соединениями, с оксидами свинца, кадмия, меди фторопласт-4 реагирует при температуре более 623 К.

Фторопласт-4Д отличается от фторопласта-4 несколько меньшей молекулярной массой, формой и размерами частиц, методами переработки. Физические и механические свойства приведены в табл. П.1.1, П.2.1, П.3.1. По химической стойкости фторопласт-4Д от фторопласта-4 не отличается.

Фторопласт-4М более прозрачен и радиационностоек, менее хладотекуч и газопроницаем, чем фторопласт-4. По механическим (табл. П.1.1), физическим (табл. П.2.1, П.3.1), а также химическим свойствам мало отличается от фторопласта-4.

Фторопласт-4МБ по сравнению с фторопластом-4М обладает лучшими диэлектрическими свойствами, большей прозрачностью и термостабильностью, повышенной текучестью расплава.

Фторопласт-40, в отличие от фторопласта-4, более радиационностоек, практически не хладотекуч, имеет хорошее сопротивление раздиру, истиранию. Динамический коэффициент трения по стали составляет 0,054, а статический – 0,087. Температура разложения составляет более 623 К. Фторопласт-40 обладает повышенной тепло- и морозостойкостью, стоек к атмосферным воздействиям. Остальные механические и физические свойства приведены в табл. П.1.1, П.2.1, П.3.1.

По химической стойкости фторопласт-40 почти не уступает фторопласту-4. Плавиковая и 98%-я азотная кислоты, ацетон при нагревании вызывают набухание 0,15, 1,64 и 1,75 % соответственно, но не изменяют величины разрушающего напряжения и относительного удлинения полимера. Водопоглощение составляет 0,005 %.

Фторопласт-40Б отличается высокими износо- и цветостойкостью, химической и радиационной стойкостью. Применяется для конструкционных и электроизоляционных изделий, длительно работающих при температуре 473 К.

Фторопласт-40 ШБ имеет высокие цвето- и износостойкость, но более низкие показатели диэлектрических свойств, чем фторопласт-40Б.

Фторопласт-42 отличается высокой радиационной стойкостью, низким коэффициентом трения (по стали 0,04), стойкостью к световому старению, температура разложения составляет 633 К. Другие механические и физические свойства приведены в табл. П.1.1, П.2.1, П.3.1. Для фторопласта-42 характерна высокая химическая стойкость к действию кислот, щелочей, окислителей. Водопоглощение за 24 ч составляет 0 %. Он нерастворим в спиртах, ароматических и хлорированных углеводородах, растворим в кетонах, сложных эфирах и диметилформамиде при температуре 323 К.

Фторопласт-4НА наряду с хорошей теплостойкостью (табл. П.2.1) и химической стойкостью отличается высокой морозостойкостью. Температура разложения его составляет 623 К. Он устойчив к действию концентрированных кислот, щелочей, окислителей, растворяется в ацетоне и других кетонах при комнатной температуре. Водопоглощение за 24 ч равно 0 %.

#### *Технология переработки*

Фторопласт-4 преимущественно перерабатывается спеканием предварительно отпрессованных заготовок. Чистый или предварительно смешанный с наполнителями различного функционального назначения порошок таблетруется в пресс-форме при комнатной температуре и давлении от 30 до 35 МПа с последующим спеканием отформованного изделия при температуре 648 К в течение 20 мин на каждый миллиметр толщины изделия. Закалку изделий производят после спекания быстрым погружением в воду. Незакаленные изделия получают, медленно охлаждая их после спекания до температуры 523 К в течение 1–3 ч и затем до комнатной температуры на воздухе или в воде. Особенности переработки фторопласта-4 обусловлены высокой динамической вязкостью расплава ( $\sim 10^{10}$  Па·с) даже при температурах, близких к температуре разложения, равной 643 К. При переработке степень кристалличности снижается до 45–85 % в зависимости от молекулярной массы и режима охлаждения. Фторопласт-4 сваривается, склеивается после специальной предварительной обработки, а также механически обрабатывается при высоких скоростях резания и малых подачах режущего инструмента.

Фторопласт-4Д. Из паст, приготовленных смешиванием порошка полимера со смазывающими веществами, на *плунжерных прессах*

при температуре 643 К и давлении 70 МПа изготавливают профильные изделия неограниченной длины

Термообработанный фторопласт-4ДПТ перерабатывается *методами порошковой металлургии*.

Фторопласт-4ДП. Пропитанные концентрированной суспензией волокна, ткани и другие наполнители сушат при температуре не выше 373 К, затем *спекают* при температуре 643 К. Покрытия из суспензии фторопласта-4ДП выдерживают нагревание до температуры 643 К.

Фторопласт-4М, имеющий динамическую вязкость расплава  $10^3-10^5$  Па · с при температуре 573 К, перерабатывается *прессованием* при температуре от 553 до 593 К и давлении от 20 до 35 МПа, *экструзией* при температуре от 593 до 633 К, *литьем под давлением* при температуре от 553 до 593 К и давлении от 120 до 150 МПа, а также *напылением*. Листы и пленки свариваются при температуре выше 553 К. При пропитке суспензией наполнители, армирующие материалы сушат на воздухе, затем подвергают термообработке при температуре  $523 \pm 5$  К.

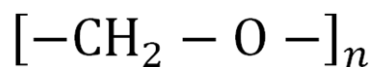
Фторопласт-40 перерабатывается *прессованием* при температуре от 543 до 563 К и давлении от 20 до 25 МПа, *экструзией* при температуре от 543 до 568 К, *литьевым прессованием* при температуре от 573 до 593 К и давлении от 373 до 393 МПа, *литьем под давлением* при температуре от 553 до 573 К и давлении от 150 до 160 МПа. Фторопласт-40 хорошо механически обрабатывается, сваривается и склеивается. Пропитка суспензией или нанесение покрытий производятся окунанием, кистью, пульверизацией с последующей сушкой и термической обработкой при температуре от 533 до 553 К. Покрытия из суспензий стойки до температуры 473 К.

Фторопласт-42 перерабатывается *прессованием* при температуре от 503 до 513 К и давлении от 30 до 40 МПа, *литьевым прессованием* при температуре от 483 до 493 К и давлении около 100 МПа, *литьем под давлением* при температуре от 513 до 533 К и давлении от 100 до 120 МПа, а также *экструзией* при температурах от 533 до 563 К. Фторопласт-42 легко механически обрабатывается.

Фторопласт-4НА перерабатывается обычными методами, применяемыми для термопластичных полимеров. *Прессование* проводят в интервале температур от 493 до 513 К при давлении 30 МПа.

### 3.5. Полиметиленоксид

Полиметиленоксид – линейный полимер с химической формулой



Практическое применение нашли гомополимер с блокированными концевыми группами ОН и сополимеры. Общее название полиметиленоксидов за рубежом – ацетальные или полиацетальные смолы. Они выпускаются следующих марок: дельрин, целкон (США), хостаформ, ультраформ (Германия), дуракон (Япония).

#### *Свойства*

Полиметиленоксид – твердый жесткий продукт. По усталостной прочности к динамическим знакопеременным нагрузкам превосходит поликарбонаты, полифенилоксид, полиамиды. Обладает низкой ползучестью (значительно ниже, чем у полиамидов, но выше, чем у поликарбоната и полистирола), высокой износостойкостью, хорошими фрикционными свойствами (коэффициент трения по стали составляет от 0,2 до 0,35), малой проницаемостью по отношению к парам органических веществ. Проницаемость полиметиленоксида к водяному пару в 10 раз выше, чем у полиэтилена. Горюч, не токсичен.

Свойства гомополимера с блокированными группами ОН и сополимера приведены в табл. П.1.1, П.2.1, П.3.1. Сополимеры более термостабильны при переработке и эксплуатации, чем гомополимеры. Гомополимер при нагревании в отсутствие кислорода устойчив до температуры 523 К, на воздухе подвергается термоокислительной деградации при температурах выше 433 К.

К действию органических кислот, щелочей и солей сополимер более стоек, чем гомополимер. Устойчивость последнего к действию щелочей определяется природой концевых групп (ацетальные связи не гидролизуются под действием оснований). Вода вызывает набухание до 1 % при длительном воздействии.

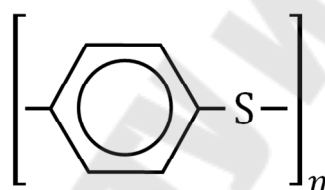
К воздействию минеральных и уксусной кислот полиметиленоксиды не стойки, при температуре менее 333 К растворяются в гексафторацетонгидрате и гексафторацетоксиде и незначительно (менее 3 % массы) набухают практически во всех органических растворителях. При температуре более 373 К полиметиленоксиды ограниченно растворимы в фенолах, ароматических аминах, бензиловом спирте, галогенопроизводных углеводородов и других органических растворителях.

### Технология переработки

Гомополимеры с блокированными группами ОН и сополимеры перерабатываются *литьем под давлением* и *экструзией* только при введении в них стабилизирующих добавок, замедляющих термоокислительную деструкцию. Температура переработки составляет от 453 до 513 К при давлении от 120 до 150 МПа. При этом время пребывания полимера в расплавленном состоянии должно составлять не более 30 мин. Рекомендуется последующая термическая обработка при температуре от 403 до 423 К в течение 20–30 мин. Заготовки из полиметиленаоксида хорошо обрабатываются на станках, их можно пилить, сверлить, наносить резьбу, вбивать гвозди.

### 3.6. Полифениленсульфид

**Полифениленсульфид** – линейный полимер с химической формулой



В США выпускается марки райтон PPS.

#### Свойства

Полифениленсульфид нетоксичен, не имеет запаха, характеризуется высокой термостабильностью, термостойкостью, устойчивостью к окислению, радиационной стойкостью, негорючестью, высокой адгезией к металлам; по химической стойкости уступает лишь политетрафторэтилену. Изделия из него могут длительно эксплуатироваться на воздухе при температуре 533 К, сохраняя термопластичность. Потери массы на воздухе незначительны до температуры 773 К, полное разложение происходит при температуре 993 К. В инертной атмосфере потери массы при температуре 873 К составляет 40 % и не увеличивается вплоть до 1273 К. Температура стеклования полифениленсульфида составляет 361 К и повышается при его сшивании до 366 К. При температуре 400 К в линейном полимере происходит фазовый экзотермический переход (перекристаллизация), а в интервале температур от 550 до 555 К происходит плавление кристаллической фазы. При очень сильной сшивке в полимере ни фазового перехода при температуре 400 К, ни плавления в интервале температур от 550

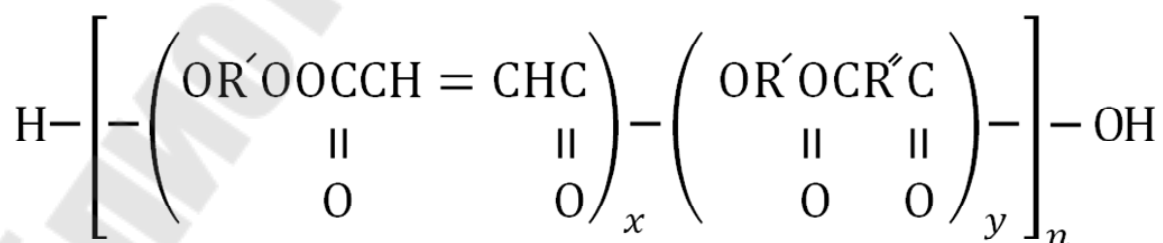
до 555 К не наблюдается. Механические (табл. П.1.1) и физические (табл. П.2.1, П.3.1) свойства полифениленсульфида сохраняются практически неизменными после выдержки при температуре 533 К в течение 200 ч. На модуль упругости полифениленсульфида и на его предел прочности при изгибе практически не влияет  $\gamma$ -излучение до 1000 Мрад и облучение нейтронами до 5000 Мрад. Полифениленсульфид устойчив к действию кислот, щелочей, воды при температурах менее 473 К. При нагревании он разрушается концентрированной азотной кислотой и сильными окислителями. При температуре менее 473 К во многих органических растворителях не растворяется, а при температуре более 473 К растворяется в некоторых ароматических, хлорированных ароматических растворителях и некоторых гетероциклических соединениях.

#### *Технология переработки*

Полифениленсульфид хорошо перерабатывается при незначительной усадке *литьем под давлением* при температуре от 573 до 633 К и давлении от 75 до 150 МПа, *прессованием* при температуре от 613 до 673 К и давлении от 10 до 70 МПа, *плазменным напылением*, а также путем нанесения покрытий и пропиткой тканей и волокон суспензией с последующей термической обработкой. Благодаря своим свойствам полифениленсульфид используется для получения покрытий, которые наносятся различными методами: *пульверизацией водных суспензий, электростатическим напылением порошков, вихревым спеканием*. Во всех случаях при переработке полифениленсульфида необходима термическая обработка при температуре не ниже 643 К.

### 3.7. Полиэфирмалеинаты

**Полиэфирмалеинаты** – неперелетные полиэферы общей формулы



(R' и R'' – радикалы;  $x = 1 \div 5$ ;  $y = 0 \div 5$ ;  $n = 1 \div 20$ ).

Промышленными предприятиями СНГ выпускаются полиэфирмалеинаты следующих марок: ПН-1, ПН-2, ПН-3, ПН-4, ПН-6, ПН-11, ПН-6М, ПН-8, ПН-10, ПН-12, ПН-15, ПН-16, ПН-32, ПН-35, ПН-62, ПН-63, ПН-69, ПН-Н, ПН-81, ПН-100, ПН-301, НПС-609-21 М, НПС-609-22 М, НПС-609-21 РК, НПС-609-26, НПС-609-27, НПС-609-28, НПС-609-27 Б, НПС-609-29, НПС-609-30, ЗСП-3, ЗСП-4, ЗСП-9, ЗСП-12, ЗСП-13, лавсан. Зарубежные предприятия производят полиэфирмалеинаты следующих марок: родэстер, аэропол, атлак, бакелит, битл, вестопал, виапал, вибрин, габрастер, добекан, кристик, ламекс, ламелон.

### *Свойства*

Полиэфирмалеинаты в зависимости от состава, химического строения и молекулярной массы представляют собой вязкие жидкости или твердые вещества. Линейные молекулы полиэфирмалеината сшиваются в пространственные полимеры с помощью отвердителя за счет разрыва двойной химической связи остатка ненасыщенной дикарбоновой кислоты. В качестве отвердителя используют ненасыщенный мономер, чаще всего стирол. Поскольку мономер, являясь одновременно отвердителем, входит в состав сшитого блок-сополимера, процесс отверждения практически не сопровождается выделением летучих веществ и производится при низком технологическом давлении. Отвержденные смолы характеризуются хорошей адгезией ко многим материалам. Их физические и механические свойства приведены в табл. П.1.1, П.2.1, П.3.1.

Для полиэфирмалеинатов характерна высокая стойкость к действию минеральных и органических кислот, многих органических растворителей (особенно при комнатной температуре), масел, бензина, воды. Водопоглощение за 30 сут. составляет от 0,35 до 0,65 %. К действию щелочей стойкость полиэфирмалеинатов, как правило, невысока.

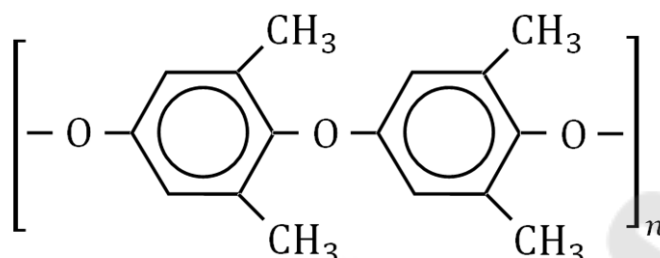
### *Технология переработки*

Полиэфирмалеинаты перерабатываются в изделия методом пропитки наполнителей (волокон, тканых и нетканых волокнистых материалов, бумаги и др.) раствором олигомеров или смешением олигомеров с наполнителями (древесной мукой, тальком, целлюлозой и др.) с последующим отверждением при формировании методами *прямого прессования, контактного формования, вакуум-формования, автоклавным формованием*. Усадка при отверждении полиэфирмалеинатов составляет от 5 до 8 %.



### 3.8. Полифениленоксид

Полифениленоксид – простой ароматический полиэфир линейного строения с химической формулой



Полифениленоксид выпускается марок арилокс (СНГ), РРО и норил (США).

#### *Свойства*

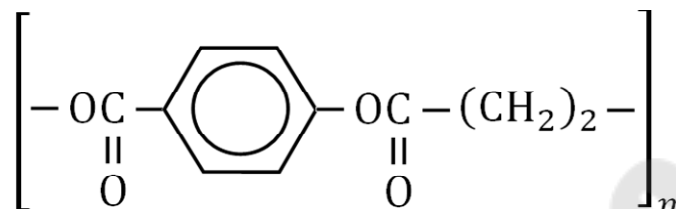
Механические (табл. П.1.1) и физические (табл. П.2.1, П.3.1.) свойства полифениленоксида не изменяются после многократного повторного формования на литьевых машинах. От известных термопластов полифениленоксид отличается самым низким водопоглощением, высокой технологичностью. Он нетоксичен, стоек к агрессивным средам, грибковой плесени и радиоактивному излучению, устойчив к действию разбавленных и концентрированных минеральных кислот, щелочей, кипящей воды и перегретого пара. Водопоглощение для арилокса, РРО и норила составляет: равновесное при влажности 50 % и температуре 313 К соответственно 0,06, 0,03 и 0,14 %, при погружении в воду при температуре 313 К соответственно 0,11, 0,10, 0,14 %. Полифениленоксид растворим в хлорированных и ароматических углеводородах, диоксане, тетрагидрофуране и апротонных диполярных растворителях, таких как диметилформаид, диметилсульфоксид.

#### *Технология переработки*

Полифениленоксид перерабатывается *литьем под давлением* при температурах от 593 до 613 К, *экструзией* при температурах от 513 до 573 К. Особенностью технологической переработки является широкий температурный интервал перерабатываемости и возможность получения тонкостенных изделий сложного профиля. Полифениленоксиды хорошо свариваются и склеиваются.

### 3.9. Полиэтилентерефталат

**Полиэтилентерефталат** представляет собой сложный линейный ароматический полиэфир терефталевой кислоты с химической формулой



В СНГ выпускается под названием лавсан.

#### *Свойства*

При быстром охлаждении расплава до комнатной температуры образуется аморфный прозрачный полимер, кристаллизующийся при температуре выше 353 К. Полиэтилентерефталат отличается низкими гигроскопичностью и коэффициентом трения, стабильностью формы изделий. Основные физические и механические свойства приведены в табл. П.1.1, П.2.1, П.3.1.

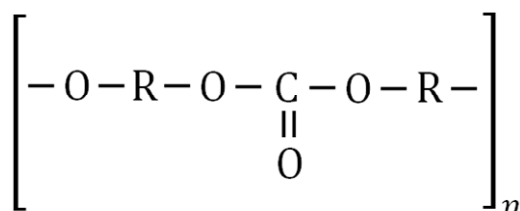
Полиэтилентерефталат устойчив к действию разбавленных растворов щелочей, слабых кислот, минеральных солей, эфиров, масел, жиров, тогда как к действию концентрированных азотной и серной кислот, концентрированных щелочей не стоек. Он растворяется при нагревании в феноле, крезоле, нитробензоле.

#### *Технология переработки*

Полиэтилентерефталат перерабатывается в изделия преимущественно *литьем под давлением* с предварительной сушкой в интервале температур от 393 до 403 К в течение 5–7 ч.

### 3.10. Поликарбонаты

**Поликарбонаты** – сложные полиэфиры угольной кислоты и диоксисоединений общей формулы



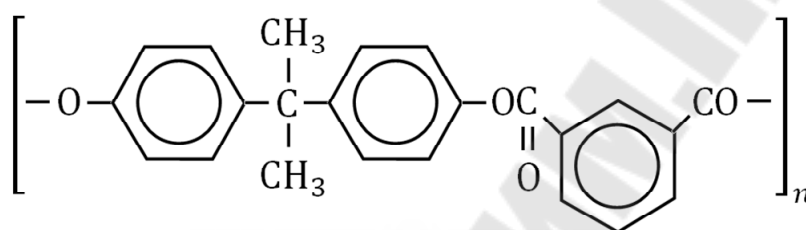
В зависимости от природы радикала поликарбонаты могут быть алифатическими, жирно-ароматическими и ароматическими, в зави-

симости от структуры макромолекулы – линейными, разветвленными и трехмерными. Выпускаются поликарбонаты марок дифлон (СНГ), лексан и мерлон (США), пейлай, юпилон и тоуфлон (Япония), кистан (Польша), макролон (Германия) и др.

#### *Свойства*

Дифлон устойчив к действию разбавленных растворов неорганических и органических кислот, слабых щелочей, минеральных солей, окислителей. Водопоглощение составляет 0,4 %. Гидроксид аммония, амины и растворы сильных щелочей вызывают гидролитическую деструкцию поликарбонатов.

Дифлон имеет химическую формулу



В интервале температур от 125 до 473 К его прочностные свойства изменяются незначительно. Полимер достаточно устойчив к действию ультрафиолетового излучения и излучений высокой энергии. Обладает низкой гигроскопичностью, высокими атмосферо- и влагостойкостью, стойкостью к действию микроорганизмов, самозатухающий. Деструкция начинается выше температуры 603 К. Оптически прозрачен. Характерна высокая стабильность размеров изделий при переработке, склонность к ползучести очень мала, коэффициент трения составляет 0,3–0,4. Остальные механические и физические свойства приведены в табл. П.1.1, П.2.1, П.3.1.

Дифлон растворяется или набухает в большинстве органических растворителей, за исключением алифатических и циклоалифатических углеводородов, одно- и многоатомных спиртов (кроме метанола), растительных и животных жиров, масел. Основными растворителями дифлона являются метиленхлорид, хлороформ, трихлорэтан, тетра-хлорэтан.

#### *Технология переработки*

Поликарбонаты перерабатывают всеми методами, используемыми для переработки термопластичных полимеров, в том числе методами *холодного формования*: штамповкой, прокатом, клепкой, вытяжкой. Температура переработки составляет от 513 до 573 К,

вязкость расплава высокая по сравнению с вязкостью расплавов других полимеров. Изделия можно сваривать, склеивать, точить, сверлить, фрезеровать, пилить, резать, шлифовать, полировать, соединять одно с другим заклепками и гвоздями.

### 3.11. Полиарилаты

**Полиарилаты** представляют собой сложные ароматические полиэфиры двухатомных фенолов общей формулы

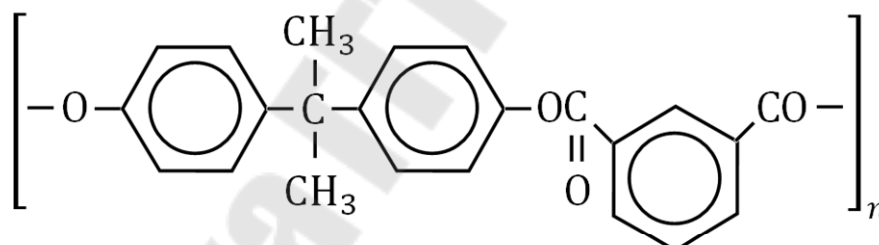


где R – остаток дикарбоновой кислоты; R' – остаток двухатомного фенола.

Промышленными предприятиями выпускаются полиарилаты следующих марок: Д-3, Д-4, Д-3Э, Д-4С, Д-9, Ф-1, Ф-2, ДВ-101 (СНГ), а также серии U (юнайтика): U-1060, U-2030, U-4015 (Япония).

#### *Свойства*

Химическое строение полиарилатов во многом определяет их свойства. Механические и физические свойства полиарилата U-1060 с химической формулой



приведены в табл. П.1.1, П.2.1, П.3.1.

Высокую прочность и термостойкость полиарилатам придает их структура, в которой ароматические кольца связаны подвижным эфирным мостиком. Полиарилаты успешно конкурируют с металлами в деталях конструкционного назначения. Износ при повышенных, до 400 К, температурах практически не отличается от износа при комнатной температуре. В интервале температур от 410 до 420 К детали из полиарилатов эксплуатируются под нагрузкой в течение нескольких тысяч часов. Они огнестойки и самозатухающие. Температура термического разложения равна 700 К. Изделия из полиарилатов сохраняют высокую гибкость и стабильность размеров после прекращения действия нагрузки выше температуры 390 К. Полимеры устойчи-

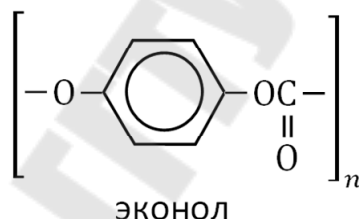
вы к действию ультрафиолетового и ионизирующего излучения, к длительному воздействию разбавленных растворов минеральных и органических кислот, некоторых окислителей, петролейного эфира, бензина, керосина. Однако к действию концентрированной серной кислоты, растворов щелочей, аммиака, диметилацетамида, диметилформамида данные полимеры не стойки. При нагревании с органическими кислотами, гидроксилсодержащими соединениями, а также эфирами полиарилаты способны к обменным деструктивным реакциям алкоголиза, ацидолиза, эфириза.

#### *Технология переработки*

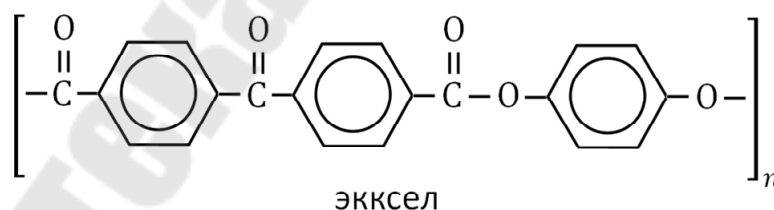
Полиарилаты перерабатываются *литьем под давлением* (марки Д-4, Д-4С, Ф-1), *литьевым и компрессионным прессованием* (марки Ф-2, Д-9), *литьем под давлением, экструзией, формованием с раздувом* (марки U-1060, U-2030, U-4015).

### 3.12. Полиоксибензоаты

**Полиоксибензоаты** – это сложные ароматические полиэфиры с химическими формулами:



и



Выпускаются полиоксибензоаты марок *эконол*, *экссел* (США).

#### *Свойства*

Полиоксибензоаты не плавятся вплоть до температуры разложения (около 823 К). Они характеризуются высокой термостойкостью (*эконол* по термостойкости превосходит полиимиды и пирроны), низким влагопоглощением, высокими диэлектрическими показателями в широком интервале температур и частот. Основные механические и физические свойства приведены в табл. П.1.1, П.2.1, П.3.1. Кристалли-

ческая структура данных полимеров сохраняется до температуры 810 К. Потеря массы эконола после выдержки в течение 1 ч при температуре 590 К составляет 0,06 %, при температуре 610 К составляет 0,1 %, при 670 К составляет 0,5 %, при 700 К – 1,4 %, при 830 К – 3 %. Особенностью эконола является возможность его переработки горячей ковкой в интервале температур от 430 до 470 К.

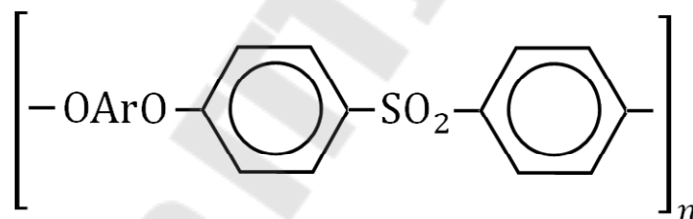
Полиоксибензоаты износостойки, устойчивы к коррозии, по химической стойкости не отличаются от арилатов. Они являются одними из перспективных полимеров для производства полимерных композиционных материалов с температурой эксплуатации до 590 К.

#### *Технология переработки*

Обычные методы для переработки полиоксибензоатов не пригодны. Кроме *горячейковки*, изделия формируют спеканием порошкообразного полимера в интервале температур от 698 до 723 К и давлении от 35 до 140 МПа.

### 3.13. Полиэфирсульфоны ароматические

**Ароматические полиэфирсульфоны** представляют собой твердые полимеры с химической формулой



Выпускаются следующие марки: полисульфон-а, полисульфон-ПА (СНГ); арилон, астрель 360, полисульфон 200 Р, полисульфон 300 Р, полисульфон Р-1700, удель, полифениленэфирсульфон ICI (США) и др.

#### *Свойства*

Ароматические полиэфирсульфоны стабильны при нагревании на воздухе до температуры 673 К, их свойства не изменяются в интервале температур от 173 до 423 К. Они характеризуются высокими сопротивлениями холодному течению и термическому старению, электрической прочностью, радиационной стойкостью ( $1,5 \times 10^{10}$  рад), устойчивы к воздействию жидкого бора. Герметизирующие и электрические свойства сохраняются до интегральной дозы облучения  $2,2 \times 10^8$  рад. Ароматические полиэфирсульфоны являются самозатухающими полимерами. Механические и физические

свойства ароматических полиэфирсульфонов приведены в табл. П.1.1, П.2.1, П.3.1.

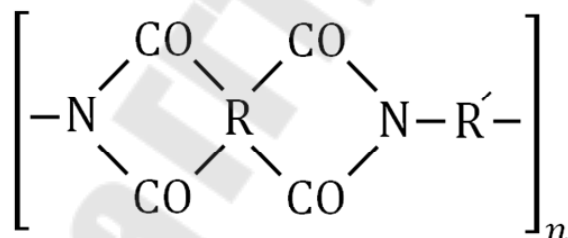
Ароматические полиэфирсульфоны устойчивы к действию щелочей, большинства сильных минеральных кислот. В простых органических растворителях и воде не растворяются: водопоглощение за 24 ч при температуре 296 К составляет: для удель – 0,02 %, для астрель – 1,8 %, для PES (200P) – 0,43 %. Полиэфирсульфоны растворяются в полярных ароматических и хлорированных углеводородах и апротонных биполярных растворителях, концентрированная серная кислота сульфатирует и расщепляет цепь полиэфирсульфона.

#### *Технология переработки*

Ароматические полиэфирсульфоны перерабатываются *прессованием* при температурах от 473 до 563 К, *литьем под давлением* при температуре расплава от 618 до 713 К и *экструзией* при температурах от 588 до 643 К.

### 3.14. Полиимиды

**Полиимиды** – это циклоцепные гетероциклические полимеры общей формулы



По строению мономерного звена полиимиды могут быть алифатическими, алициклическими или ароматическими. По строению главной полимерной цепи – линейными или трехмерными. Наибольшее практическое применение получили ароматические линейные полиимиды.

Промышленностью выпускаются полиимидные пресс-порошки следующих марок: ПМ-67, ПМ-69 (СНГ), кайнол (Франция), веспел, полиимид 2080 (США), а также связующие марок ПАИ-1, СП-1, СП-3, СП-6, СП-95, СП-97, СП-97ВК (СНГ), скайбонд, пиралин, Q<sub>x</sub>-13, полиимид 2080 (США), торлон, P105Ac, NR-150, HR-600.

### Свойства

Физико-механические свойства полиимидов, приведенные в табл. П.1.1, П.2.1, П.3.1, не изменяются в течение длительного времени в широком температурном интервале от 73 до 573 К. Их температура разложения выше температуры плавления. Они являются средне-частотными диэлектриками. Изделия из полиимидов характеризуются высокой стабильностью размеров и низкой ползучестью при высоких температурах, низким коэффициентом трения (0,05–0,17 по стали), высокой термостойкостью и устойчивостью к действию  $\gamma$ -излучения, быстрых электронов и нейтронов.

Разбавленные кислоты почти не влияют на свойства полиимидов. В органических растворителях большинство ароматических полиимидов не растворяются, они инертны к действию масел. Концентрированные азотная и серная кислоты вызывают деструкцию полиимидов при комнатной температуре и особенно при нагреве. Под действием щелочей и перегретого пара полиимиды гидролизуются. К воде полиимиды более чувствительны, чем большинство других линейных гетероцепных полимеров.

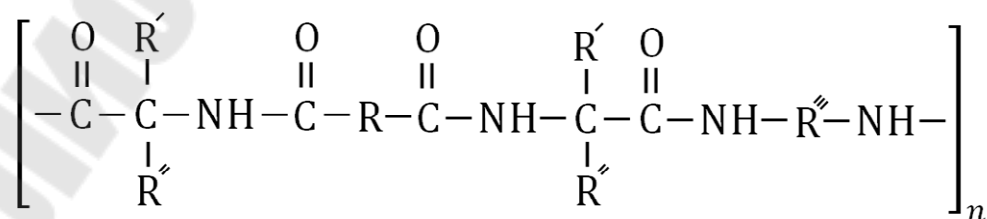
### Технология переработки

Полиимидные пресс-порошки перерабатываются методами *прямого* и *компрессионного прессования*, *литья под давлением*, *горячего прессования* при температурах от 653 до 693 К и давлении от 2,5 до 12 МПа.

Полиимидные связующие перерабатываются в изделия пропиткой наполнителей с последующим отверждением методом *контактного формования* и *прямого прессования*.

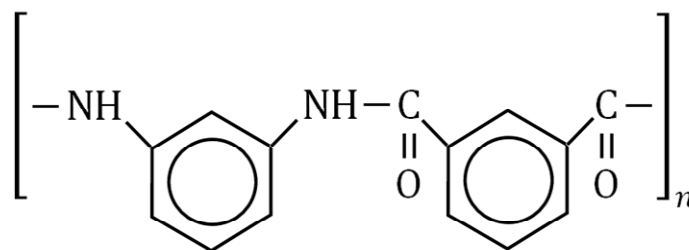
## 3.15. Полиамиды

**Полиамиды** представляют собой гетероцепные полимеры, содержащие в основной цепи макромолекулы амидные группы  $-\text{CO}-\text{NH}-$ . Могут быть алифатическими общей формулы





или ароматическими общей формулы



в зависимости от того, с алифатическими или ароматическими радикалами связаны амидные группы. По строению главной полимерной цепи полиамиды могут быть линейными, разветвленными или трехмерными.

Промышленностью выпускаются алифатические полиамиды таких марок как капролон, нейлон-6, полиамид (СНГ), нейлон-6,6, нейлон-7, нейлон-11, нейлон-6,10 (СНГ, США); ароматические полиамиды марок фенилон П, фенилон С1, фенилон С2 (СНГ), номекс (США).

#### *Свойства*

Механические и физические свойства полиамидов зависят от химической природы и молекулярной массы полимера (табл. П.1.1, П.2.1, П.3.1). Алифатические полиамиды характеризуются высокой усталостной прочностью, сопротивлением к истиранию и ударным нагрузкам, низкой гигроскопичностью, повышенной электризуемостью, низкой устойчивостью к термо- и фотоокислительному воздействию. Для ароматических полиамидов характерны резко выраженная температура плавления и стабильность свойств при повышенных температурах.

Полиамиды устойчивы к действию органических растворителей.

Алифатические полиамиды растворяются лишь в сильнополярных растворителях, способных специфически сольватировать амидные группы. При комнатной температуре алифатические полиамиды растворяются в концентрированных кислотах, например, серной, азотной, муравьиной, монохлоруксусной, трихлоруксусной, в фенолах (феноле, крезоле, ксиленоле, тимоле), хлорале, концентрированном растворе хлорида кальция и в спиртах. Универсальными растворителями для алифатических полиамидов являются трифторэтиловый и 2,2,3,3-тетрафторпропиловый спирты. Высококипящие спирты, например, бензиловый, фенилэтиловый, этиленгликоль, являются более слабыми растворителями.

Ароматические полиамиды растворяются только в основных растворителях, таких как диметилацетамид или N-метилпирролидон, иногда при добавлении солей, например, CaCl<sub>2</sub> или LiCl.

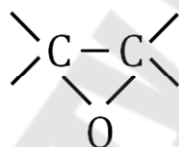
Полиамиды растворяются также в концентрированной серной и хлоруксусной кислотах.

#### Технология переработки

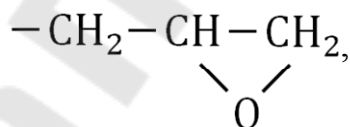
Алифатические полиамиды перерабатываются *литьем под давлением* при температурах от 353 до 393 К и давлении от 80 до 100 МПа в тонкостенные изделия толщиной 0,3 мм сложной конфигурации и *экструзией*, в том числе *экструзией с раздувом*. Ароматические полиамиды перерабатываются методом *прямого прессования с предварительным подогревом*. Усадка при прессовании составляет около 0,6 %.

### 3.16. Эпоксидные смолы

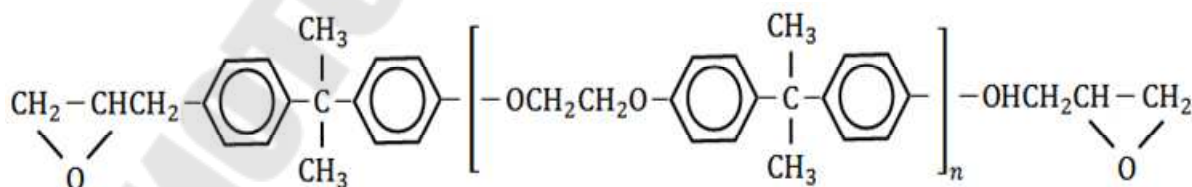
**Эпоксидные смолы** – это олигомеры или полимеры, содержащие в молекуле не менее двух эпоксидных групп



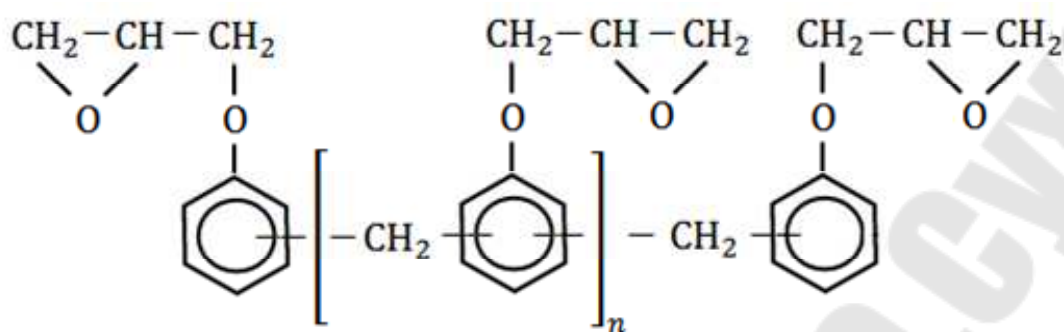
или глицидиловых групп



способные превращаться в полимеры пространственного строения. Существует большое разнообразие эпоксидных смол. Например, эпоксидно-диановые смолы с химической формулой



эпоксисоволачные смолы с химической формулой



а также эпоксидные смолы на основе многоатомных фенолов, циклоалифатические эпоксидные смолы и др.

Промышленностью выпускаются эпоксидно-диановые смолы марок ЭД-10, ЭД-14, ЭД-16, ЭД-18, ЭД-20, ЭД-22, УП-614 (СНГ), эпон 828, эрла (США); эпоксисоволачные смолы марок ЭН-6, 5Н, 6Э18Н60 (СНГ); на основе многоатомных фенолов марок РЭС-3, ЭИС-1, ЭТФ (СНГ); циклоалифатические эпоксидные смолы марок УП-612, УП-632, УП-648 (СНГ).

#### *Свойства*

Неотвержденные эпоксидные смолы представляют собой растворимые и плавкие термопластичные вязкие жидкости или хрупкие твердые вещества, характеризующиеся хорошей адгезией ко многим материалам и небольшой усадкой при отверждении. В процессе отверждения эпоксидных смол летучие вещества не выделяются, что определяет сравнительную простоту технологии их переработки. В качестве отвердителей эпоксидных смол используют мономерные, олигомерные и полимерные соединения различных классов. Эпоксидные смолы способны отверждаться без подвода тепла, в том числе при температуре 273 К, а также при нагревании, в присутствии влаги и даже в воде. Композиционные материалы на основе эпоксидных смол являются непревзойденными конструкционными материалами, характеризуются меньшей хрупкостью, чем композиционные материалы на основе фенолоформальдегидных смол, высокой адгезией ко многим материалам. Основные свойства приведены в табл. П.1.1, П.2.1, П.3.1.

Эпоксидным смолам присуща высокая стойкость к действию щелочей, солей, окислителей, органических растворителей, воды. Водопоглощение эпоксидиановых смол за 24 ч составляет от 0,01 до 0,1 %.

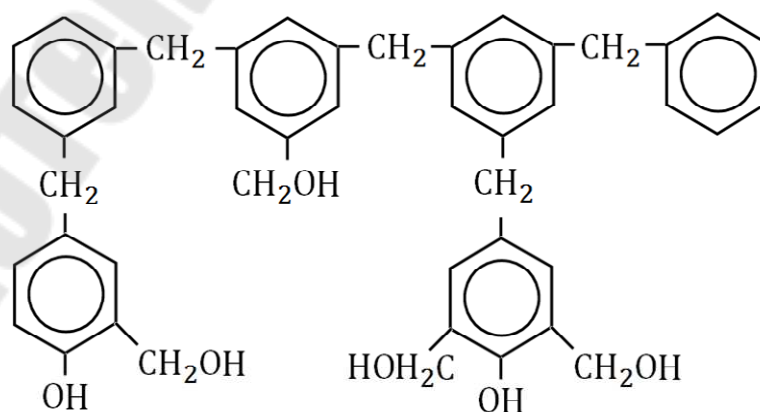
### Технология переработки

Эпоксидные смолы перерабатываются путем *пропитки наполнителей* (волокон, тканей, нетканых волокнистых материалов, бумаги и др.) раствором олигомеров или *смешением* олигомеров с наполнителями (древесной мукой, тальком, целлюлозой и др.) с последующим *отверждением* при формовании методами *прямого прессования, контактного формования, вакуум-формования, автоклавным методом*, обработкой в *пресс-камерах*. Температура переработки составляет от 293 до 453 К, продолжительность гелеобразования в условиях переработки от 30 с до 100 ч, объемная усадка находится в пределах от 2 до 8 %. Эпоксидные смолы при комнатной температуре *отверждаются* полиэтиленполиаминами или гексаметилендиамином в расчете от 5 до 15 % отвердителя от массы смолы в течение 24 ч с последующей термической обработкой в интервале температур от 333 до 393 К в течение от 2 до 12 ч. *Горячее отверждение* ароматическими ди- и полиаминами проводится в интервале температур от 373 до 453 К в течение 4–16 ч.

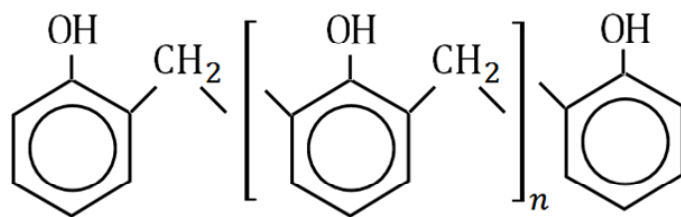
### 3.17. Фенолоформальдегидные смолы

**Фенолоформальдегидные смолы** – олигомерные продукты поликонденсации фенолов (монооксибензола, крезолов, ксиленолов, резорцина) с формальдегидом. В зависимости от условий поликонденсации образуются резольные (терморезактивные) или новолачные (термопластичные) фенолоформальдегидные смолы.

*Резольные смолы* – это смесь линейных и разветвленных полимергомологов с молекулярной массой от 400 до 1000, для которых характерно наличие реакционноспособных метилольных групп:



*Новолачные смолы* – это олигомеры преимущественно линейного строения:



отличающиеся от резольных смол отсутствием не вступивших в реакцию метилольных групп.

Резольные смолы при нагревании, а новолачные при нагревании с добавлением отвердителя, например, уротропина, в количестве от 6 до 14 %, в процессе переработки отверждаются быстрее резольных.

### *Свойства*

Неотвержденные фенолоформальдегидные смолы представляют собой твердую хрупкую прозрачную аморфную массу с плотностью от 1220 до 1270 кг/м<sup>3</sup>, легко переходящую в интервале температур от 333 до 393 К в жидкость, или жидкость с плотностью от 1140 до 1220 кг/м<sup>3</sup> и динамической вязкостью от 0,01 до 0,5 Па · с. Они растворяются в растворах едких щелочей, фенолов и многих органических растворителей. В резольных смолах при комнатной температуре продолжают протекать реакции конденсации, обуславливающие повышение молекулярной массы и изменение свойств во времени. Новолачные смолы в отсутствие влаги стабильны при хранении.

Различают три стадии отверждения. На первой стадии при нагревании смола (резол) плавится и пребывает в вязкотекучем состоянии. Далее, на второй стадии, смола, называемая резитолом, переходит в высокоэластическое состояние. На этой стадии она растворяется частично, но сильно набухает в органических растворителях. На последней, третьей, стадии образуется твердый резит, который при нагревании лишь слегка размягчается. Максимальная температура отверждения лежит в интервале от 413 до 473 К. Усадка при отверждении составляет от 6 до 9 %. Резольные смолы, в отличие от новолачных, способны длительное время при переработке пребывать в вязкотекучем состоянии.

Отвержденные смолы (резиты) – это хрупкие продукты некристаллической структуры, которые наряду с высокими механическими (табл. П.1.1) и электроизоляционными свойствами обладают хорошей антикоррозионной стойкостью. Резольные смолы по сравнению с новолачными характеризуются лучшими диэлектрическими свойствами, которые зависят от температуры и частоты тока.

Резины устойчивы к действию большинства кислот, разлагаются под действием концентрированной серной кислоты и кислот-окислителей, растворов едких щелочей, кипящих фенолов. При длительном контакте с водой резины слегка набухают. В органических растворителях резины не растворяются, но содержащиеся в них олигомерные продукты могут быть экстрагированы, например, кипящим ацетоном. Выше температуры 573 К начинается деструкция фенолоформальдегидных смол, сопровождающаяся выделением летучих продуктов и образованием в инертной среде механически прочного кокса. Коксовое число равно 55–70 %, для смол с карборановыми группами – от 85 до 97 %.

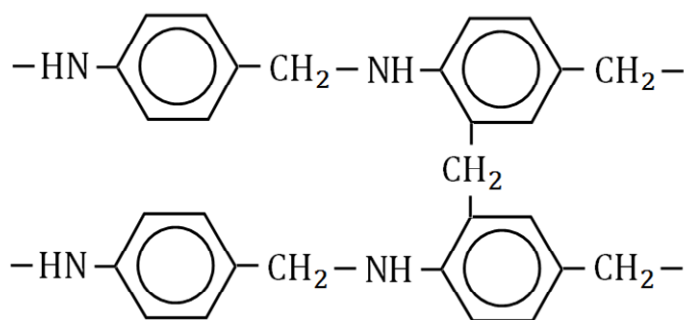
Фенолоформальдегидные смолы можно легко модифицировать на стадии получения резолы или новолака анилином для улучшения диэлектрических свойств и водостойкости, резорцином для улучшения адгезионных свойств, фуриловым спиртом для улучшения химической стойкости, бутадиенстирольным каучуком для повышения ударной вязкости и стойкости к вибрационным нагрузкам, полиолефинами, эпоксидными, полиэфирными смолами и другими веществами.

#### *Технология переработки*

Фенолоформальдегидные смолы перерабатываются в изделия путем *пропитки наполнителей* (тканых и нетканых волокнистых наполнителей, бумаги и др.) раствором олигомеров или *смешением* олигомеров с наполнителями (тальком, древесной мукой, графитом и др.) с последующим отверждением при формовании методами *прямого* и *литьевого прессования*, *литья под давлением*, *экструзии*, *автоклавного*, *вакуумформования*, а также методом *штранг-прессования*. Температурный режим отверждения, величина и режим приложения давления при формовании изделий определяются маркой смолы, природой и структурой наполнителя, конфигурацией и толщиной изделия.

### **3.18. Анилиноформальдегидные смолы**

**Анилиноформальдегидные смолы** представляют собой продукты взаимодействия анилина с формальдегидом. В зависимости от условий синтеза получают термопластичные и термореактивные смолы. Для получения изделий используются термореактивные смолы, которые при нагревании до температуры от 423 до 433 К отверждаются, образуя полимер пространственной структуры:



Отверждение анилиноформальдегидных смол протекает медленнее, чем у фенолоформальдегидных резольных смол. За рубежом анилиноформальдегидные смолы выпускают под названием *цибанит*.

#### *Свойства*

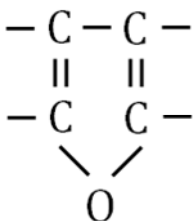
Отвержденные смолы непрозрачны, под действием солнечного света темнеют. Механические и физические свойства приведены в табл. П.1.1, П.2.1, П.3.1. По водостойкости и маслостойкости они превосходят фенолоформальдегидные смолы; маслопоглощение незначительно, водопоглощение составляет 0,1 %. Они устойчивы к действию щелочей, но разлагаются под действием сильных кислот. В органических растворителях не растворяются, но олигомерные продукты могут быть извлечены экстракцией.

#### *Технология переработки*

Анилиноформальдегидные смолы перерабатываются в ПКМ и изделия из них *пропиткой наполнителей* (волокон, тканей, бумаги и др.) раствором олигомеров или *смешением* олигомеров с наполнителями (тальком, целлюлозой, графитом и др.) с последующим отверждением при температурах от 423 до 433 К при формовании методами *компрессионного формования, литья под давлением* при давлении от 30 до 40 МПа, *вакуум-формования, автоклавного формования*.

### 3.19. Фурановые смолы

**Фурановые смолы** – это олигомерные продукты, содержащие в молекулах фурановый цикл



и способные превращаться в присутствии катализатора или при нагревании в трехмерные полимеры. Отверждение их подобно отверждению фенолоформальдегидных смол.

В СНГ выпускаются фурановые смолы следующих марок: ФА, ФЛ, ФАЭД, ДИФА. Зарубежные предприятия выпускают фурановые смолы марок ситвар, тайпон, пенсалт, фуран, фурамель.

#### *Свойства*

Олигомер фурфурола является твердым хрупким продуктом темно-коричневого цвета с молекулярной массой от 500 до 1200. Он растворим в диоксане, ацетоне, хлороформе, фурфуроле, тетрагидрофуране. Температура отверждения находится в интервале от 433 до 523 К в присутствии бензосульфокислоты.

*Олигомер фурилового спирта* – вязкая жидкость от темно-коричневого до черного цвета с молекулярной массой от 500 до 600, растворяется в ацетоне, фурфуроле и спиртоацетоновой смеси. Имеет низкую адгезию к стеклянному волокну. Отверждается в интервале температур от 423 до 433 К в присутствии малеиновой, минеральных кислот. При комнатной температуре отверждается в присутствии солянокислого анилина.

*Фурфурилфурфураль* – жидкость темного цвета с вязкостью от 280 до 300 с, отверждается при комнатной температуре и в интервале температур от 443 до 453 К в присутствии бензосульфокислоты.

*Мономер ФА* – жидкость желтовато-коричневого цвета, состоит в основном из монофурфурилиденацетона (содержание от 50 до 65 %) и дифурфурилиденацетона (содержание от 25 до 40 %), растворяется в кетонах, сложных эфирах и эфирах этиленгликоля; совмещается с фенолоформальдегидными и эпоксидными смолами, вследствие чего повышаются прочность и адгезия. Отверждается при комнатной температуре и в интервале температур от 443 до 453 К в присутствии бензосульфокислоты.

Продукты отверждения фурановых смол характеризуются высокими тепло-, кислото- и щелочестойкостью, большим коксовым числом – от 89 до 90 %. Разложение продуктов отверждения фурановых смол начинается выше температуры 573 К. Отверждение сопровождается увеличением плотности от 1100 до 1500 кг/м<sup>3</sup> и, следовательно, большой усадкой. Поэтому их используют только в сочетании с наполнителями.

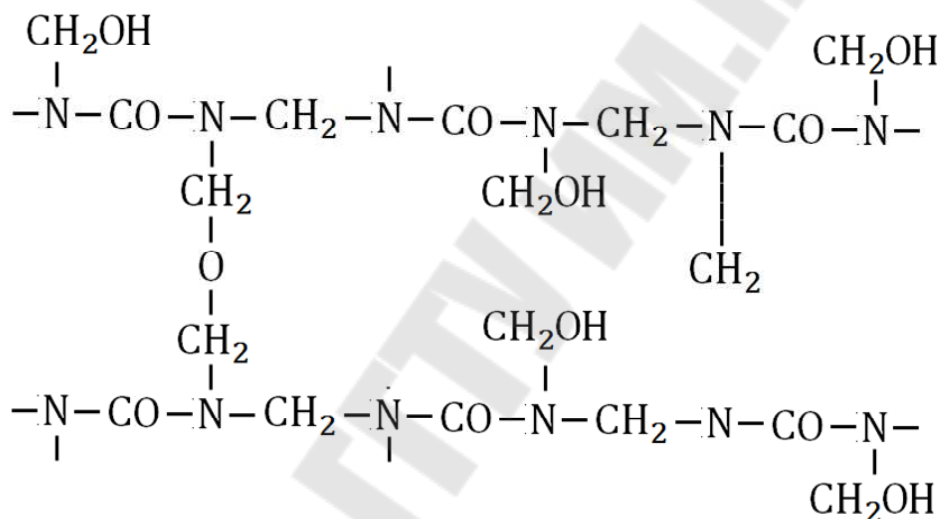


### Технология переработки

Фурановые смолы перерабатываются в изделия путем *пропитки наполнителей* (тканей, волокон и др.) олигомерными продуктами или *смешением* олигомеров с наполнителями (песком, графитом, сажей, асбестом) с последующим отверждением при переработке методами *прямого прессования* или *автоклавного формования*.

### 3.20. Мочевиноформальдегидные смолы

**Мочевиноформальдегидные смолы** – олигомерные продукты поликонденсации мочевины с формальдегидом, способные при нагревании в присутствии кислотных катализаторов превращаться в пространственные продукты с химической структурой



В СНГ производятся мочевиноформальдегидные смолы марок МФ, М, УКС, бартрев. За рубежом эти смолы выпускают под названиями аутосет, формасет, циакор резин, урак резин, америте (США), фиталак, каларок (Великобритания), ипорка, бекурол, фестопас, элмопласт (Германия), гедамин (Франция), аминоцел (Италия).

#### Свойства

Мочевиноформальдегидные смолы – это светостойкие, легкоокрашивающиеся полимеры с хорошей дугостойкостью и высокой твердостью, низким коксовым числом – от 14 до 21 %, быстро разлагающиеся при нагревании без доступа воздуха. В отличие от фенолоформальдегидных смол они прозрачны при наличии в них от 10 до 15 % диспергированной воды. Даже при комнатной температуре диспергированная вода испаряется, что приводит к усадке и растрескиванию полимера. Поэтому для предотвращения трещинообразова-

ния и придания прочности в смолу всегда вводится наполнитель. Основные механические и физические свойства отвержденных смол приведены в табл. П.1.1, П.2.1, П.3.1. Существенным недостатком мочевиноформальдегидных смол является выделение формальдегида при переработке и эксплуатации. Модификация мочевиноформальдегидных смол гликолями, бутиловым спиртом и другими веществами повышает адгезию, придает способность совмещаться с другими смолами, например, эпоксидными.

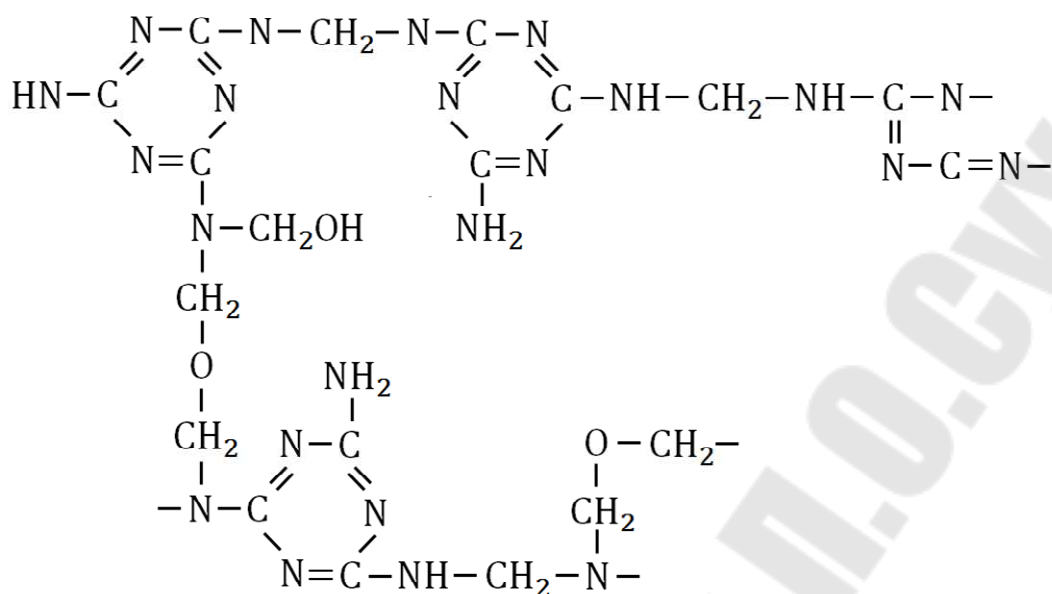
Мочевиноформальдегидные смолы устойчивы к действию слабых щелочей, жиров и масел, относительно устойчивы к действию слабых кислот. Разлагаются под действием сильных кислот и щелочей. Частично разлагаются под действием растворов солей. К воде они менее стойки, чем фенольные смолы: при комнатной температуре достаточно стойки, под действием горячей воды частично разлагаются. В органических растворителях мочевиноформальдегидные смолы не растворяются, но олигомерные продукты могут быть извлечены экстракцией.

#### *Технология переработки*

Мочевиноформальдегидные смолы перерабатываются в ПКМ и изделия из них путем *пропитки наполнителей* (волокон, тканей и др.) растворами олигомеров или *смешением* олигомеров с наполнителями (тальком, древесной мукой, целлюлозой и др.) с последующим отверждением в среде кислотного катализатора при температуре от 393 до 413 К при формовании методами *прямого прессования* при давлении от 25 до 35 МПа и *литья под давлением*, а также *штранг-прессованием*.

### **3.21. Меламиноформальдегидные смолы**

**Меламиноформальдегидные смолы** представляют собой олигомерные продукты поликонденсации меламин с формальдегидом, способные при нагревании до температуры около 443 К в присутствии кислотных катализаторов превращаться в пространственные полимеры. Отвержденный продукт имеет формулу



Меламиноформальдегидные смолы выпускаются в виде 50–55%-х растворов олигомеров вязкостью от 90 до 180 с, а также в виде сухих порошков.

#### *Свойства*

Меламиноформальдегидные смолы характеризуются хорошими свето- и дугоустойкостью, сильным блеском поверхности, лучшими по сравнению с мочевиноформальдегидными смолами теплостойкостью, твердостью; они легко окрашиваются. Основные механические и физические свойства отвержденных смол приведены в табл. П.1.1, П.2.1, П.3.1. Для улучшения диэлектрических свойств эти смолы модифицируются диэтанололамином, триэтанололамином или *n*-толуолсульфамидом, для улучшения теплостойкости – фурфуролом, а для улучшения гигиенических свойств модифицируются бензогуанаминами.

Меламиноформальдегидные смолы устойчивы к действию слабых щелочей, относительно устойчивы к действию слабых кислот, водостойки в условиях кипячения в воде. Водопоглощение за 24 ч составляет от 0,3 до 0,5 %. Меламиноформальдегидные смолы разлагаются под действием сильных кислот и щелочей. В органических растворителях не растворяются, но олигомерные продукты могут быть извлечены экстракцией.

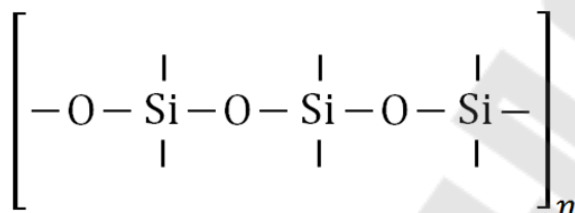
#### *Технология переработки*

Меламиноформальдегидные смолы перерабатываются в изделия из них путем *пропитки наполнителей* (волокон, тканых и нетканых волокнистых материалов, бумаги и др.) раствором олигомеров или *смешением* олигомеров с наполнителями (древесной мукой, тальком,

целлюлозой и др.) с последующим отверждением в температурных условиях от 40 до 443 К при формовании методами *прямого прессования* при давлении от 35 до 45 МПа, *вакуум-формования*, *автоклавного формования*, *литья под давлением*.

### 3.22. Кремнийорганические полимеры

К **кремнийорганическим полимерам** относятся силиконы, полиорганосилоксаны. Кремнийорганические полимеры общей формулы, например,



представляют собой термостойкие высокомолекулярные элементоорганические соединения, содержащие атомы кремния и углерода в составе элементарного звена макромолекулы. В зависимости от строения главной полимерной цепи различают линейные, разветвленные и циклолинейные: лестничные и сшитые, в том числе циклосетчатые. Исключительная гибкость силоксановой цепи утрачивается при переходе от линейной структуры к лестничной.

В СНГ выпускаются кремнийорганические смолы следующих марок: лаки К-41, К-44 КО-946, КО-916, КО-928, ЭФ-3, ЭФ-5, К-9, К-9Э.

#### *Свойства*

Линейные и разветвленные полиорганосилоксаны невысокой молекулярной массы – это вязкие бесцветные жидкости; высокомолекулярные линейные – эластомеры; сшитые и разветвленные – твердые хрупкие стеклообразные вещества (табл. П.1.1, П.2.1, П.3.1). Линейные, разветвленные и лестничные полимеры растворимы в большинстве органических растворителей (алифатических и ароматических углеводородах, их галогенпроизводных, кетонах, эфирах), но плохо растворимы в низших спиртах. Термодеструкция начинается в интервале температур от 543 до 603 К. Они характеризуются пластичностью выше температуры 423 К и низкой адгезионной способностью, гидрофобностью, резиноподобной гибкостью, большим количеством непрочного коксового остатка. Кремнийорганические полимеры модифицируют фенолоформальдегидными, полиэпоксидными, непредельными полиэфирными полимерами.

Кремнийорганические полимеры устойчивы к действию большинства кислот и щелочей. Концентрированная серная кислота и концентрированные щелочи вызывают разрыв силоксановой связи.

*Технология переработки*

Кремнийорганические смолы перерабатываются в изделия путем *пропитки наполнителей* (волокон, тканей) раствором полиорганосилоксана или *смешением* его с порошковыми наполнителями с последующим отверждением в условиях температурного воздействия 473 К при формовании методами *прямого прессования* и *контактного формования*. Например, усадка при отверждении лака К-9 составляет от 2 до 3 %, а лака К-9Э – 3,6 %.

## Глава 4

# ВИДЫ, СВОЙСТВА И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НАПОЛНИТЕЛЕЙ ПОЛИМЕРНЫХ МАТРИЦ

Для получения изделий на основе полимерных матриц обычно применяют твердые наполнители: тонкодисперсные с частицами зернистой (сажа, диоксид кремния, древесная мука, мел, каолин) или пластинчатой (тальк, слюда, графит) формы, полые сферы, гранулы различной формы, а также разнообразные волокнистые материалы: элементарные волокна, нити, пряжи, жгуты, ткани, холсты, маты, бумага, прутки, сетки. Многие наполнители, например, графит, стекло, металлы, применяют как в виде порошков или зерен, так и волокон, в том числе монокристаллических.

Наполнители влияют на самые разнообразные свойства полимерных материалов (табл. П.4.1) и определяют возможные способы их переработки в изделия. Характер и степень влияния наполнителя на свойства полимерных материалов зависят от природы, структуры, процентного содержания наполнителя в матрице, формы, размера, взаимного расположения частиц или волокон, прочности сцепления их со связующим. Наполнители, изменяющие основные характеристики материала, называются *активными*, а не изменяющие этих характеристик – *инертными*. Активные волокнистые наполнители, упрочняющие полимер, называются *армирующими*. Деление наполнителей на активные, т. е. упрочняющие, и инертные в известной мере условно, поскольку, улучшая одну характеристику системы, наполнитель может ухудшать другую. Содержание наполнителя в полимерном материале изменяется в широких пределах. Обычно оно составляет от 45 до 50 мас. %, но может в три и более раз превышать содержание полимера. Взаимодействие полимера с наполнителем определяется как химической природой этих материалов, так и характером поверхности наполнителя. Наибольшее улучшение свойств достигается при возникновении между наполнителем и полимером химических связей или значительных адгезионных сил.

К наполнителям для ПКМ помимо общих требований, таких как способность совмещаться с полимером или диспергироваться в нем с образованием однородных композиций, хорошая смачиваемость расплавом или раствором полимера, стабильность свойств при хранении, а также при переработке и эксплуатации изделия, предъявляются и некоторые специальные требования, определяемые типом связующе-

го. Различный характер процессов, протекающих при получении изделий из ПКМ на основе терморезактивных и термопластичных полимеров, обуславливает отличия в требованиях к наполнителям для этих полимеров. Так, наполнители для реактопластичных полимеров могут быть более грубодисперсными и менее однородными по размеру частиц, чем наполнители для термопластичных, поскольку реактопласты перерабатываются обычно в виде расплавов или растворов с относительно невысокой вязкостью. Наполнители для реактопластов не должны оказывать каталитического действия на отверждение полимера. Желательно также, чтобы эти наполнители содержали функциональные группы, способные участвовать в образовании химической связи полимер–наполнитель. Частицы наполнителей для термопластов должны иметь шероховатую поверхность, поскольку это обеспечивает прочное механическое сцепление наполнителя с поверхностью полимера. Наполнители для пластифицированных термопластов должны обладать минимальной пористостью, т. к. в противном случае они могут поглощать пластификатор.

Поверхность наполнителей часто обрабатывают растворами или эмульсиями поверхностно-активных веществ или аппретов. Такая обработка улучшает смачиваемость наполнителя полимером, повышает адгезию, снижает склонность к агломерации в случае использования порошкообразных наполнителей и к поглощению пластификаторов, улучшает водостойкость и другие свойства полимерных материалов.

По своей природе наполнители делятся на *органические* и *неорганические (минеральные)*, а по структуре – на *порошкообразные, волокнистые* и *листовые*. Природа и структура наполнителя в свою очередь отражены в классификации пластмасс. Так, различают стеклопластики (стекловолокнистый наполнитель), текстолиты (ткани различной структуры), асбопластики (асбоволокнистые материалы), гетинакс (бумага), древесно-слоистые пластики (древесный шпон), органоволокниты (синтетические волокна), пресс-порошки (порошкообразный наполнитель) и др.

#### **4.1. Порошкообразные наполнители**

Полимерные материалы, содержащие порошкообразные наполнители, равномерно распределенные в материале, как правило, характеризуются изотропией свойств, оптимум которых достигается при степени наполнения, обеспечивающей адсорбцию всего объема связующего поверхностью частиц наполнителя.

При повышении температуры и давления часть связующего десорбируется с поверхности наполнителя, благодаря чему материал можно формовать в изделия сложных форм с хрупкими армирующими элементами. Порошкообразный наполнитель уменьшает усадку при прессовании, повышает жесткость и твердость изделий из полимерных материалов, а в отдельных случаях изделия приобретают специфические свойства, например, дугостойкость, электро- и теплопроводность, стойкость к действию электромагнитного и проникающего излучений и др.

Для получения прочных полимерных материалов целесообразно применять наполнители с наибольшей удельной поверхностью, т. е. с наименьшим размером частиц. Однако при выборе оптимальных размеров частиц наполнителей, особенно при использовании в качестве связующих низковязких олигомеров, необходимо учитывать склонность частиц к агломерации, возрастающей с ростом удельной поверхности наполнителя, и седиментацию частиц, ускоряющуюся с уменьшением удельной поверхности, повышением плотности наполнителя и снижением вязкости связующего. Введение тонкодисперсных наполнителей связано с большими технологическими трудностями, т. к. сопровождается загустеванием композиций, т. е. снижением их текучести. Размер частиц наполнителя не должен превышать 40 мкм, чаще всего он составляет от 1 до 15 мкм. В отдельных случаях применяют наполнители с размером частиц до 300 мкм.

#### ***4.1.1. Органические порошкообразные наполнители***

К таким наполнителям относятся графит, древесная мука, кокс, сажа, термоантрацит.

**Графит** – практически чистый углерод, имеет высокие тепло- и электропроводность, является хорошей сухой смазкой. При введении в полимерные матрицы увеличивает стабильность их размеров, химическую стойкость, прочность при растяжении, жесткость, твердость, показатели антифрикционных свойств, тепло- и электропроводность. Недостатком природного графита является высокая зольность от 2 до 25 %, что обуславливает его невысокие показатели антикоррозионных свойств, а также низкая механическая прочность (предел прочности при сжатии составляет от 21 до 35 МПа, предел прочности при растяжении находится в перелах от 7 до 21 МПа). Поэтому природный графит вводят в материалы на основе полимерных матриц главным образом как антифрикционную добавку в количестве



от 5 до 10 мас. %. Коллоидный графит, получаемый графитизацией термоантрацита, т. е. термической обработкой при температуре от 2673 до 2873 К, и последующим его измельчением на коллоидных мельницах, содержит мало примесей, однако дорог и малопрочен, поэтому обычно его количество в полимерных материалах составляет не более 5–10 мас. %. Для конструкционных теплопроводных полимерных материалов в качестве наполнителей используют измельченные в порошок отходы графитированных электродов, которые представляют собой прочный искусственный графит, характеризующийся высокими тепло- и электропроводностью, химической стойкостью и хорошими антифрикционными свойствами.

Применяют порошкообразный графит для получения графитопластов на основе термопластичных и термореактивных полимерных матриц.

**Древесная мука** состоит в основном из целлюлозы и лигнина. При введении в полимерные матрицы улучшает стабильность их размеров, прочность при растяжении, электроизоляционные свойства. Недостатками древесной муки, особенно из древесины лиственных пород, являются низкие тепло-, влаго- и химическая стойкость.

Применяют древесную муку для получения наполненных полимерных материалов на основе термопластичных и термореактивных матриц.

**Сажа** состоит из 94,8–99,3 % углерода и 0,9–0,5 % водорода. Сажа представляет собой высокодисперсный углеродный материал, образующийся при неполном сгорании и термическом разложении углеводородов, которые содержатся в природных или промышленных газах и в жидких продуктах (маслах) нефтяного и каменноугольного происхождения. По степени кристалличности сажа занимает промежуточное положение между кристаллическим графитом и аморфным углеродом.

Упрочняющее действие сажи в полимерных материалах определяется дисперсностью, которая характеризуется размером частиц сажи и ее удельной поверхностью, а также шероховатостью, удельной активностью (энергией поверхности). При введении в полимерные матрицы увеличивает стабильность размеров, жесткость, теплостойкость, тепло- и электропроводность.

Применяется при изготовлении наполненных полимерных материалов на основе термопластичных и термореактивных матриц.

**Другие органические наполнители.** Для конструкционных полимерных материалов в качестве наполнителей используют также измельченный кокс и термоантрацит. Термоантрацит представляет собой антрацит, прошедший термическую обработку без доступа воздуха при непрерывном повышении температуры до 1473–1573 К. Эти наполнители менее теплопроводны, чем графит, но более прочны и дешевы.

#### ***4.1.2. Неорганические порошкообразные наполнители***

К таким наполнителям относятся асбест хризотилковый, аэросил, белая сажа, бентонит, вермикулит, каолин, мел, природный диоксид кремния, порошки металлов, слюда, тальк, фториды, сульфаты и сульфиды металлов.

**Асбест хризотилковый (антофилитовый).** Химическая формула



Это силикат, характеризующийся волокнистой структурой. При введении в полимерные материалы увеличивает стабильность их размеров, химическую стойкость, ударную вязкость, жесткость, твердость, теплостойкость и показатели электроизоляционных свойств.

Используется как наполнитель для термопластичных и терморезактивных полимерных связующих.

**Аэросил ( $\text{SiO}_2$ )** – синтетический порошкообразный наполнитель, являющийся продуктом пиролитического разложения галогенидов кремния. Промышленными предприятиями выпускается также под марками кабосил, хайсил, ультрасил, дуросил. При введении в полимерные матрицы увеличивает стабильность их размеров, стойкость к растрескиванию, жесткость, повышает ударную вязкость.

Аэросил широко применяются для наполнения полиэтилена, сополимеров этилена с винилацетатом, поливинилбутираля, эфиров целлюлозы, фторопластов, поликарбонатов, полиакрилатов, эпоксидных смол, полиамидов.

**Белая сажа ( $\text{SiO}_2 \times \text{H}_2\text{O}$ )** – это синтетический мелкодисперсный порошок с размером частиц от 0,02 до 0,10 мкм. При введении в полимерные материалы увеличивает влагостойкость и показатели электроизоляционных свойств, а также способствует улучшению их технологии переработки.

Используется для наполнения термопластичных и терморезактивных связующих.

**Бентонит (монтмориллонит).** Химическая формула



Бентонит – это природный дисперсный наполнитель с частицами пластинчатой формы размером от 0,2 до 2,0 мкм. При введении в полимерные матрицы увеличивает стойкость материалов к растрескиванию, стабильность размеров, теплостойкость.

**Вермикулит.** Химическая формула



Вермикулит представляет собой природный механически диспергируемый наполнитель с частицами чешуйчатой формы размером от 2 до 3 мкм. При введении в полимерные материалы увеличивает стойкость их к растрескиванию, стабильность размеров, твердость, тепло- и химическую стойкость.

Используется для наполнения термопластичных и терморективных полимерных матриц.

**Каолин.** Формула каолина



Это природный порошкообразный наполнитель с частицами пластинчатой формы размером примерно 1,8–2 мкм. При введении в полимерные материалы увеличивает стабильность их размеров, влаго-, тепло- и химическую стойкость, жесткость, твердость и показатели антифрикционных свойств, облегчает технологическую переработку.

Используется для наполнения термопластичных и терморективных связующих, а также для получения премиксов.

**Мел** ( $\text{CaCO}_3$ ) бывает различной дисперсности: молотый с размером частиц от 5 до 20 мкм, дезинтегрированный с размером частиц от 5 до 8 мкм, отмученный с размером частиц от 2 до 5 мкм, а также химически осажденный (размер частиц составляет 0,4 мкм). У мела форма частиц зернистая. При введении в полимерные материалы увеличивает стабильность их размеров, жесткость, твердость, теплостойкость, обеспечивает легкость переработки. Мел применяется преимущественно для наполнения термопластичных и терморективных полимерных матриц, а также для получения премиксов. Является одним из важнейших наполнителей для полиэтилена и поливинилхлорида.

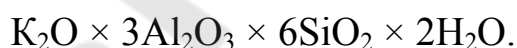
**Природный диоксид кремния** ( $\text{SiO}_2$ ) представляет собой обычный песок, горную муку, кварц, диатомиты. Природный диоксид кремния имеет сравнительно невысокую плотность и хорошо совмещается с различными полимерами. При введении в полимерные матрицы увеличивает их влагостойкость и показатели электроизоляционных свойств, облегчает переработку.

Широко используется для наполнения полиолефинов, поливинилхлорида, полиамидов, полиуретанов, эпоксидных, фенольных смол и других полимеров.

**Порошки металлов.** Преимущественно в качестве наполнителей используют порошки железа, меди, алюминия, свинца, бронзы, которые придают полимерам некоторые специальные свойства. При определенной концентрации такого наполнителя, необходимой для непосредственного контакта между его частицами, резко повышаются теплопроводность и электрическая проводимость полимерных материалов и, кроме того, материал становится стойким к действию электромагнитного и проникающего излучений.

Используются порошки металлов для наполнения термопластичных и терморезистивных связующих. Полимерные материалы, наполненные металлическим порошком или мелкой стружкой, применяют для изготовления различного инструмента, оснастки, заделки дефектов в металлическом литье и др.

**Слюда (мусковит).** Химическая формула



Это порошок с частицами пластинчатой слоистой формы размером от 3 до 5 мкм. При введении в полимерные материалы увеличивает стабильность их размеров, влаго-, тепло- и химическую стойкость, жесткость, твердость, показатели антифрикционных и электроизоляционных свойств. Слюда используется для наполнения термопластичных и терморезистивных связующих, особенно при получении электроизоляционных материалов.

**Тальк** ( $3\text{MgO} \times 4\text{SiO}_2 \times \text{H}_2\text{O}$ ) представляет собой порошок с частицами чешуйчатой или листовидной формы размером от 3 до 5 мкм. При введении в полимерные материалы увеличивает стабильность их размеров, влаго-, тепло- и химическую стойкость, жесткость, твердость, показатели антифрикционных и электроизоляционных свойств, облегчает переработку.

Используется для наполнения термопластичных и терморективных полимерных матриц, особенно при получении электроизоляционных материалов.

**Фториды, сульфаты и сульфиды металлов**, например, такие как  $\text{BaF}_2$ ,  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{BaSO}_4$ ,  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{MoS}_2$ , повышают тепло- и химическую стойкость полимеров, улучшают их триботехнические характеристики. Так, дисульфид молибдена значительно понижает и стабилизирует коэффициент трения композитов на основе полимеров. Используются для наполнения термопластичных и терморективных полимерных матриц.

#### *4.1.3. Полые микросферы*

Данный тип наполнителей представляет собой полые частицы сферической формы контролируемых размеров, преимущественно от 25 до 500 мкм, которые имеют плотность от 100 до 700  $\text{кг/м}^3$  и способны выдерживать гидростатическое давление более 10,7 МПа. Полые микросферы разных видов применяются для получения легких наполненных полимерных материалов, например, синтактовых пен на основе термопластичных и терморективных смол с повышенными удельными прочностью и жесткостью, равномерной плотностью по объему, плавучестью и другими ценными свойствами. Такие материалы используются в качестве эффективных радиопрозрачных, конструкционных, теплоизоляционных и звукоизоляционных материалов.

**Полые стеклянные микросферы** содержат от 84 до 86 %  $\text{SiO}_2$ , диаметр частиц от 35 до 60 мкм, насыпная масса от 100 до 200  $\text{кг/м}^3$ , плавучесть составляет 95 %, прочность при гидростатическом сжатии находится в пределах значений от 3,5 до  $4,0 \times 10^3$  МПа, температура плавления составляет 1273 К.

**Полые микросферы из оксида алюминия** содержат 100 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Диаметр частиц таких микросфер составляет от 60 до 120 мкм, насыпная масса от 280 до 350  $\text{кг/м}^3$ , отношение толщины стенки к диаметру составляет от 2 до 4 %, плавучесть 100 %, температура плавления 2323 К. Они обладают стойкостью к воздействию влаги и различных агрессивных сред.

**Полые микросферы из оксида циркония** содержат 100 %  $\text{ZrO}_2$ , диаметр частиц составляет от 50 до 80 мкм, значения насыпной массы находятся в пределах от 400 до 500  $\text{кг/м}^3$ , плавучесть 100 %, температура плавления составляет 2973 К.

Полые микросферы марки БВ-01 из фенолоформальдегидной смолы получают из бакелита марки БЖ-3. Размер частиц составляет от 10 до 500 мкм. По внешнему виду они представляют собой сыпучий мелкий порошок коричневого цвета. Такие микросферы стойки к воздействию воды, углеводородов и других растворителей. Они нетоксичны, невзрывоопасны, горючи.

#### 4.2. Волокнистые наполнители

Применение волокнистых армирующих наполнителей ограничивает выбор методов формования и затрудняет изготовление изделий сложной конфигурации, однако повышает прочность, особенно ударную вязкость реактопластов, ползучесть термопластичных полимеров, придает полимерам некоторые специфические свойства: теплозащитные, радиотехнические и др.

В полимерную матрицу волокнистый наполнитель вводится в виде рубленого волокна длиной от нескольких десятков микрометров до нескольких десятков миллиметров, непрерывных нитей или листовых волокнистых наполнителей. Рубленые волокна в зависимости от соотношения показателей механических свойств полимера и наполнителя, размеров волокон, а также от характера взаимодействия на границе раздела полимерная матрица–волокно могут проявлять свойства как обычных дисперсных, так и армирующих наполнителей, упрочняющее действие которых определяется степенью реализации прочности волокна. Упрочняющая роль волокон диаметром от 3 до 12 мкм в стекловолокнитах, асбоволокнитах, органоволокнитах, карбоволокнитах проявляется уже при длине волокна от 2 до 4 мм. С увеличением длины волокон прочность полимерных матриц возрастает благодаря их взаимному переплетению и понижению локализованных по концам волокон напряжений в связующем, особенно в случае высокомолекулярного наполнителя. Рубленые волокна могут располагаться в полимерной матрице хаотично или ориентированно. Непрерывные волокна иногда вводятся слоями, которые могут быть ориентированы под различными углами в зависимости от требований, предъявляемых к материалам на основе полимеров. Использование непрерывных волокон позволяет получать изделия из полимерных материалов с исключительно высокими прочностными показателями.

Листовые волокнистые наполнители (ткани, холсты, сетки, маты, вязаные материалы и др.) служат основой для получения слоистых полимерных материалов, отличающихся анизотропией свойств,

например, прочностных, теплофизических вдоль слоев и перпендикулярно слоям армировки. Анизотропию свойств можно отчасти устранить применением объемно-тканых и объемно-вязаных наполнителей, изготавливаемых в соответствии с формой изделия, которая фиксируется при отверждении связующего.

#### **4.2.1. Органические волокнистые наполнители**

Органические волокнистые наполнители можно разделить на природные и синтетические.

**Хлопок** является природным наполнителем. При получении материалов на основе полимерных матриц применяется в виде текстильных отходов, измельченного волокна, нитей, отрезков тканей и др. Он легко окрашивается, обладает удовлетворительными физико-химическими и хорошими диэлектрическими свойствами. Недостатком хлопка как наполнителя полимерных материалов является значительное водопоглощение и низкая химическая стойкость. Однако хлопок используется в качестве важнейшего наполнителя для аминоальдегидных смол.

**Джут, сизаль, рами, лен** являются природными наполнителями. Они используются в смеси с порошкообразными наполнителями. При введении таких волокон в материалы на основе полимерных матриц значительно повышается ударная вязкость материала. Применение данного типа волокнистых наполнителей вместо, например, стеклянных волокон позволяет уменьшить плотность, улучшить динамические характеристики полимерных материалов, но их химическая стойкость при этом снижается.

**Полиэфирные, полиакрилонитрильные, полиамидные волокна** представляют собой синтетические наполнители, которые обладают хорошей адгезией к наполняемым полимерным матрицам. Следует отметить, что содержащие их полимерные материалы характеризуются исключительно высокой коррозионной и химической стойкостью, водостойкостью, малым коэффициентом трения и высокой износостойкостью. Недостаток этих наполнителей заключается в сравнительно невысокой теплостойкости многих из них, а также в возможности ограниченного выбора связующих, т. к. многие связующие могут изменять структуру и механические свойства волокна.

Повышение теплостойкости и механических характеристик полимерных материалов достигается также путем использования волокнистых наполнителей из таких термостойких волокон как **полиимидные, полибензимидазольные, полиоксадиазольные**.

#### **4.2.2. Неорганические волокнистые наполнители**

Наиболее важными из неорганических волокнистых наполнителей являются стеклянные и асбестовые.

**Стеклянные волокнистые наполнители** вводят в терморезактивные и термопластичные полимеры, иногда в сочетании с другими волокнистыми и порошкообразными наполнителями. При введении стеклянных волокнистых наполнителей повышаются физико-химические показатели, понижается коэффициент трения, улучшаются диэлектрические свойства, тепло-, износо- и химическая стойкость полимерных материалов. К недостаткам стеклянных волокнистых наполнителей можно отнести низкую адгезионную способность к некоторым связующим, заметное снижение прочности во влажных средах, а при наполнении термопластичных полимерных матриц – ярко выраженную анизотропию свойств изделий вследствие ориентационных эффектов при технологической переработке материалов в изделия.

**Асбест** как волокнистый наполнитель для термо- и реактопластов используется двух видов – змеевиковый (хризотил) и рогообманковый (крокидолит). Первый имеет длиноволокнистую структуру и характеризуется повышенной прочностью. Волокна же рогообманкового асбеста значительно короче и отличаются повышенной кислотостойкостью. При наполнении асбестом в виде распущенных измельченных волокон, нитей или тканей повышаются тепло-, огне-, атмосферо- и химическая стойкость, а также ударная вязкость полимерных материалов.

**Другие неорганические волокнистые наполнители.** Для наполнения полимерных матриц применяют волокна из кварца, базальта, керамики; металлическую проволоку из стали, железа, вольфрама, молибдена, титана и других металлов, а также волокна бора, бериллия, молибдена, вольфрама. В последнее время особый интерес представляет применение так называемых «усов», полученных из различных металлов, их оксидов, карбидов, нитридов и других тугоплавких соединений, а также вискезированных волокон. При использовании этих волокнистых наполнителей в сочетании с высокопрочными терморезактивными связующими, когда содержание наполнителя может составлять 80 % и больше, получают полимерные материалы, в которых удается реализовать от 50 до 75 % прочности наполнителя. Одновременно заметно возрастает теплостойкость, а также улучшаются другие свойства материалов. Однако применение «усов» и вискезированных волокон ограничивается их высокой стоимостью.



## Глава 5

# ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Путем различных комбинаций связующих и наполнителей получают полимерные материалы с необходимыми физико-механическими и триботехническими характеристиками для эксплуатации в различных условиях. Процессы производства полимерных материалов и изделий из них часто совмещены. Это позволяет существенно снизить общую стоимость изделий и, несмотря на сравнительно большую трудоемкость, сделать их экономически конкурентоспособными по сравнению с обычными промышленными товарами.

Технология изготовления изделий из полимерных материалов включает комплекс технологических операций, обеспечивающий получение изделий с заранее заданными свойствами. Процессу непосредственной обработки давлением полимерных материалов предшествуют проектирование рациональной конструкции изделия, разработка рецептуры материала, наиболее пригодной для условий эксплуатации, выбор оптимального метода формования и условий его осуществления. Оптимальный метод формования для каждого конкретного изделия определяется большим числом факторов, важнейшими из которых являются конструктивные особенности изделия, условия эксплуатации изделия и вытекающие из них требования (чистота поверхности, точность размеров и др.), тип связующего, особенности его свойств и технологические возможности, структура наполнителя, а также экономические факторы: стоимость оборудования и оснастки, их производительность и срок эксплуатации, затраты труда, его квалификация. В ряде случаев определяющим фактором оказывается программа выпуска изделий: для выпуска небольших партий изделий можно использовать малопроизводительные методы формования и применять при этом дешевую оснастку, тогда как крупносерийное производство оправдывает значительные расходы на изготовление оснастки, связанные с использованием наиболее производительных методов.

Производительность методов переработки и обработка давлением полимерных материалов на основе термопластичных матриц в основном лимитируется скоростью происходящих в полимере при переработке физических и физико-химических процессов: плавление, кристаллизация, нагрев и охлаждение, релаксация. Полнота и харак-

тер протекания этих процессов в значительной мере определяют качество готового изделия. Кроме того, на качество изделий влияют деструктивные процессы, протекающие с повышенной скоростью в полимере при его переработке вследствие термических и механических воздействий на материал со стороны рабочих органов машин.

Необходимую форму изделию из термопластов можно придать в результате развития в полимере пластической или высокоэластической деформации. В связи с высокой вязкостью материала скорость процессов деформирования весьма низкая. В зависимости от физического состояния полимерной матрицы в момент формования в готовом изделии достигается различная степень неравновесности из-за неполной релаксации внутренних напряжений. Это накладывает определенные ограничения на температурный интервал эксплуатации изделий, полученных различными методами. Увеличение доли высокоэластической составляющей деформации ведет к снижению верхнего температурного предела эксплуатации вплоть до температуры стеклования полимера.

Особенность методов обработки давлением полимерных материалов на основе терморезактивного связующего состоит в сочетании физических процессов самого формования с химическими реакциями образования трехмерных полимеров, т. е. отверждением. Причем свойства изделий определяются скоростью и полнотой отверждения. Неполное отверждение обуславливает нестабильность во времени свойств изделий на основе реактопластичных полимерных матриц, а также протекание деструктивных процессов в готовых изделиях.

В зависимости от метода обработки давлением полимерных материалов отверждение совмещается с формованием изделия в случае прессования реактопластов, или происходит после оформления изделия в полости формы в случаях литьевого прессования и литья под давлением реактопластов, или происходит при термической обработке сформованной заготовки в случае формования крупногабаритных изделий. Достижение необходимой полноты отверждения некоторых типов олигомеров даже при наличии катализаторов и при повышенных температурах требует значительного времени, вплоть до нескольких часов. Однако окончательное отверждение может проводиться вне формующей оснастки, т. к. устойчивость формы приобретает задолго до завершения технологического процесса.

Наличие температурных перепадов по сечению изделия в процессе обработки давлением полимерных материалов ведет к возрастанию структурной неоднородности и появлению дополнительных напряжений, связанных с различием в скоростях охлаждения, рекристаллизации, релаксации в разных частях, а также с различной степенью отверждения в случае реактопластов. Это обуславливает неоднородность свойств материала по сечениям изделий, что не всегда допустимо и является причиной многих видов брака: коробление, растрескивание, внутреннее порообразование.

Существование внутренних напряжений, в первую очередь, ориентационных, ограничивает также температурный интервал эксплуатации сформированных изделий. Некоторого повышения однородности надмолекулярной структуры и снижения внутренних напряжений удастся достигнуть в результате дополнительной термической обработки готового изделия, так называемого процесса термостатирования. Однако более эффективным является использование методов направленного регулирования структур в процессах переработки.

При формовании изделий из полимерных материалов путем обработки давлением возможно значительное изменение структуры, и, следовательно, свойств полимерной матрицы. Поэтому получаемые на основе одного и того же полимера материалы и изделия могут значительно отличаться по характеристикам, если технологии изготовления у них разные. Важнейшими факторами, влияющими на структуру и свойства полимерных материалов, являются параметры процесса переработки: температура, давление, режимы нагрева и охлаждения, время выдержки при заданной температуре и др. Правильный учет и подбор всех технологических параметров позволяет достигнуть в готовом изделии однородной структуры, минимального уровня остаточных структурных, усадочных, термических напряжений, а также высокой степени завершенности процессов отверждения и кристаллизации, т. е. получить высококачественные изделия.

Основные стадии технологического процесса получения полимерных материалов представлены в табл. 5.1.

Таблица 5.1

**Основные стадии технологического  
процесса получения полимерных материалов**

Стадия технологического процесса	Операции для наполнителей		
	Порошкообразных	Волокнистых в виде	
		рубленых волокон, нитей, пряжей, жгутов, крошки	лент, ткани, непрерывных волокон, нетканых полотен
Подготовка наполнителя	Измельчение, отсев нужной фракции, обезжиривание, обработка поверхностно-активными веществами, сушка	Обезжиривание, удаление замасливателя, аппретирование, рубка на отрезки требуемой длины, сушка	Обезжиривание, удаление замасливателя, аппретирование, сушка
Приготовление связующего из полимера или олигомера: порошкообразное или гранулированное связующее  жидкое связующее	Измельчение, отсев нужной фракции, сушка, добавление стабилизаторов, модификаторов, пластификаторов, отвердителей, катализаторов, пигментов и других ингредиентов, гомогенизация смеси или приготовление расплава, раствора, дисперсии или эмульсии с добавлением необходимых ингредиентов. Переработка в листовую материал при использовании термопластичных полимеров Приготовление раствора нужной вязкости, введение в раствор отвердителей, катализаторов, пластификаторов и других компонентов		
Дозировка компонентов полимерных материалов	Взвешивание наполнителя и связующего в соответствии с рецептурой		
Совмещение полимерного связующего с наполнителем	Смешение порошкообразного или жидкого связующего с наполнителем в шаровых мельницах, лопастных или шнековых смесителях с последующей гомогенизацией смеси вальцевым или шнековым методом в случае получения компаундов, премиксов, пресс-порошков. Пропитка отрезков волокон различной длины в лопастных смесителях. Сушка или термическая обработка при необходимости частичного отверждение реактопластов		Пропитка или лакировка раствором, расплавом, дисперсией, эмульсией связующего в случае получения препрегов. В отдельных случаях применяется операция нанесения порошкообразного связующего на каждый слой армирующего компонента

Стадия технологического процесса	Операции для наполнителей		
	Порошкообразных	Волокнистых в виде	
		рубленых волокон, нитей, пряжей, жгутов, крошки	лент, ткани, непрерывных волокон, нетканых полотен
Приготовление полуфабрикатов	Измельчение твердой массы, таблетирование, гранулирование или приготовление премиксов	Вырезка или вырубка заготовок требуемой формы, приготовление пакетов заготовок, намотка нитей или ленты на оправку, послойная выкладка заготовок на оправку, протяжка жгутов или стеклонитей через формующую головку	
Формование заготовки или изделия	Прямое прессование, литьевое прессование, профильное прессование, литье под давлением, центробежное литье, автоклавное литье под давлением, экструзия, вакуумформование, штампование, напыление (для материалов на основе термопластичной и термореактивной матрицы), пневматическое формование или выдувание, спекание (для материалов на основе термопластичной матрицы)	Прямое прессование, вакуумформование, контактное формование, автоклавный, пресс-камерный методы	
Механическая обработка заготовки или изделия	Обработка заготовки соответствующими методами: фрезерование, точение, сверление, полирование, шлифование, зубо- и резбонарезание и др. – до требуемых размеров и формы		
Контроль качества изделия	Контроль качества исходных компонентов, пооперационный контроль технологического процесса, контроль состава и свойств полимерных материалов. Контроль свойств включает внешний осмотр изделий с целью выявления наружных дефектов: неровностей, трещин, раковин, – проверку размеров изделия, определение физико-механических характеристик, выявление внутренних дефектов с помощью контрольной аппаратуры		

## Глава 6

# СВОЙСТВА НАПОЛНЕННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Физико-механические, физические и другие свойства наполненных полимерных материалов определяются свойствами основных компонентов – полимерной матрицы и наполнителя. Наиболее прочны полимерные материалы на основе фенольных, эпоксидных, полиэфирных смол. Самые высокие показатели диэлектрических свойств в сухой среде характерны для полимерных материалов на основе кремнеземных или кварцевых волокон и полиэфирных и кремнийорганических связующих. Максимально химически стойкими являются полимерные материалы на основе полиэтилена, полипропилена, фторопласта.

Сочетание эпоксидных, полиэфирных или меламиноформальдегидных смол с синтетическими волокнами, тканями, бумагой позволяет формировать монолитные и легкие материалы, устойчивые к вибрационным и ударным нагрузкам, водостойкие и сохраняющие диэлектрические свойства и герметичность в условиях сложного нагружения.

Полимерные материалы на основе эпоксидных смол, армированные углеродными волокнами или борными волокнами являются наиболее высокомодульными полимерными материалами, которые по удельной жесткости в несколько раз превосходят металлы.

Длительной работоспособностью при температуре 573 К обладают стекло- или асбобластики на основе кремнийорганических матриц; в интервале температур от 573 до 613 К – полиимиды в сочетании с кремнеземным, асбестовым или углеродным наполнителем; в интервале температур от 613 до 773 К в воздушной среде, а также в интервале от 2273 до 2773 К в инертных средах – наполненные полимерные материалы на основе фенольных и полиимидных матриц, наполненных углеродным волокном, а также подвергнутые карбонизации (так называемые углерод – углеродные материалы).

Использование профилированных стеклянных волокон с гексагональной, эллипсоидной, прямоугольной или гофрированной формой сечения повышает плотность упаковки волокон в полимерных материалах и увеличивает их прочность и жесткость, особенно в поперечном направлении.

Полимерные материалы с полыми наполнителями (волокнами, микросферами) имеют примерно на 20 % меньшую плотность, лучшие диэлектрические (диэлектрическая проницаемость ниже примерно на 35 %), теплофизические (коэффициент теплопроводности меньше в два раза) свойства и большую удельную жесткость по сравнению с полимерными материалами на основе сплошных волокон и микросфер. Для полимерных материалов с полыми микросферами, так называемых синтактовых пен, характерно высокое сопротивление гидростатическому сжатию и плавучесть.

Следует отметить, что для конкретных условий эксплуатации практически имеется неограниченный выбор наполненных полимерных материалов, отличающихся составом и свойствами. В табл. П.5.1 приведены некоторые составы наполненных полимерных материалов, режимы их изготовления и области практического применения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Технические свойства полимерных материалов : учеб.-справ. пособие / В. К. Крыжановский [и др.]. – Санкт-Петербург : Профессия, 2005. – 248 с.
2. Технология полимерных материалов : учеб. пособие / А. Ф. Николаев [и др.]. – Санкт-Петербург : Профессия, 2008. – 544 с.
3. Шварц, О. Переработка пластмасс / О. Шварц, Ф.-В. Эбелинг, Б. Фурт ; под общ. ред. А. Д. Паниматченко. – Санкт-Петербург : Профессия, 2005. – 320 с.
4. Композиционные материалы : справочник / под. ред. Д. М. Карпиноса. – Киев : Наук. думка, 1985. – 592 с.
5. Кацнельсон, М. Ю. Пластические массы : справочник / М. Ю. Кацнельсон, Г. А. Балаев. – Ленинград : Химия, 1978. – 384 с.
6. Ли, Г. Справочное руководство по эпоксидным смолам / Г. Ли, К. Невилл ; пер. с англ. – Москва : Энергия, 1973. – 416 с.



# ПРИЛОЖЕНИЯ

## Приложение 1

Таблица П.1.1

### Механические свойства полимеров

Полимер, марка полимера	Модуль упругости, $10^2$ , МПа			Предел прочности, МПа			Относительное удлинение после раз- рыва, %	Удельная ударная вязкость, кДж/м <sup>3</sup>	Твер- дость по Бри- нелю, МПа
	при растя- жении	при сжатии	при изгибе	при растя- жении	при сжатии	при изгибе			
<i>Полиэтилен</i>									
высокого давления	–	–	1,2–2,6	10–17	12	12–20	400–600	Образец с надре- зом не ло- мается	14–25
низкого давления	6,0–8,5	–	–	20–45	20–36	20–40	300–800	2,0–150	45–60
среднего давления	8,0–12,5	–	–	18–40	–	25–40	200–1300	7,0–120	60–80
Полипропилен	–	3,7–4,4	6,7–12,3	25–40	50–70	70–80	200–800	33–88	40–70
Полистирол	30	–	27–32	35–45	80–100	65–100	1,5–3,0	20–30	140–160
<i>Политетрафторэтилен</i>									
Фторопласт-4	–	7,0	4,7–8,5	14–35	10–12	14–18	250–500	100	30–40
Фторопласт-4Д	–	–	4,5–8,5	12–23	12	11–14	100–330	10,2	30–40
Фторопласт-4М	3,5	–	5,5–6,0	16–31	20	20–30	250–400	125	30–40
Фторопласт-40	–	6,5–7,0	8–10	27–50	–	33–34	150–400	125	58–63
Фторопласт-42	–	–	4–8	25–50	–	25–35	250–500	137–196	–
Фторопласт-4НА	–	–	4	15–30	–	20	200–450	–	30–35

Продолжение табл. П.1.1

Полимер, марка полимера	Модуль упругости, $10^2$ , МПа			Предел прочности, МПа			Относительное удлинение после разрыва, %	Удельная ударная вязкость, кДж/м <sup>3</sup>	Твердость по Бринеллю, МПа
	при растяжении	при сжатии	при изгибе	при растяжении	при сжатии	при изгибе			
<i>Полиметиленоксид (полиформальдегид)</i>									
Гомополимер	2,9	–	35	68-71	110-130	100-120	–	90-120	150-180
Сополимер	22-30	–	–	65-70	105-145	100-125	15-20	5-9	100-130
Полифениленсульфид (райтон-6) (США)	34	–	42,2	76-77	113	140	1,6-3,0	1,6	–
<i>Полиэфирмалеинат</i>									
ПН-1	–	–	22-28	40-50	80-110	80-110	5-8	6-10	140-180
ПН-3	–	–	20-25	45-55	80-125	60-85	–	7-11	100-150
ПН-11	–	–	30-40	30-45	100-135	50-60	1,2-1,8	5-6	120-160
ПН-62	–	–	30-32	35-48	80-125	50-70	1,2-1,9	3-5	150-250
ПН-63	–	–	33-34	40-45	110-130	80-90	1,0-1,8	2-4	160-220
НПС-609-21М	–	–	–	45-50	100-130	80-90	1,9-2,3	5-8	150-180
НПС-609-27	–	–	20	50-55	120-130	60-80	1,7-2,0	4-6	200-220
НПС-609-29	–	–	–	–	70-90	70-80	2,5-3,5	9-12	100-130
<i>Полифениленоксид</i>									
Арилокс-100	–	–	–	60	40	40	3	30	165
РРО (США)	25	–	24	74	106	107	20-40	40	–
Норил (США)	23	–	23	61	113	87	20-30	40	–
<i>Полиэтилентерефталат</i>									
Лавсан	–	–	–	74-92	80	150	10-20	–	–

Продолжение табл. П.1.1

Полимер, марка полимера	Модуль упругости, $10^2$ , МПа			Предел прочности, МПа			Относительное удлинение после раз- рыва, %	Удельная ударная вязкость, кДж/м <sup>3</sup>	Твер- дость по Бри- нелю, МПа
	при растя- жении	при сжатии	при изгибе	при растя- жении	при сжатии	при изгибе			
Лавсан литьевой	–	–	30	60–70	80–100	80–95	2–4	15–30	95–110
Поликарбонат (дифлон)	24–28	–	22	57–70	80–90	90–100	50–100	120–140	110–160
Полиарилат (U-1060) (Япония)	18,8	–	–	75	96	–	62	38	200–250
<i>Полиоксибензоат</i>									
Экксел I-2000(США)	25,5	35	49	99	127	120	8	163	–
Экксел С-1000(США)	13,3	21,1	31,6	70	140	106	7–9	2,2	–
Эконол Р-300(США)	72	–	51	–	–	75	–	–	–
<i>Полиэфирсульфон ароматический</i>									
Арилон (США)	22,5	–	21,1	53	–	77	–	43,5	–
Астрель 360 (США)	26,0	–	27,7	91	–	121	–	27	–
Удель (США)	25	–	27	70–72	97	105–108	50–100	68–72	–
ICI-200Р (США)	24,9	–	26,2	91	–	121	–	27	–
<i>Полиимид</i>									
ПМ-67	–	–	30–36	120–140	200–230	180–240	9–20	60–120	180–280
ПМ-69	–	–	–	95–125	210–240	180–230	4–7	60–100	200–270
ДФО	32	–	–	120	–	–	20–30	–	–
2080 (США)	13,2	207	–	120	210	202	10	–	–
P105Ac (США)	–	–	–	50	25	69–83	1,4	–	–

Продолжение табл. П.1.1

Полимер, марка полимера	Модуль упругости, $10^2$ , МПа			Предел прочности, МПа			Относительное удлинение после раз- рыва, %	Удельная ударная вязкость, кДж/м <sup>3</sup>	Твер- дость по Бри- нелю, МПа
	при растя- жении	при сжатии	при изгибе	при растя- жении	при сжатии	при изгибе			
P13N (США)	32–34	–	–	51	–	70–80	1,4	–	–
NR-150 (США)	37,7	–	–	106	–	–	9	–	–
<i>Полиамиды алифатические</i>									
6	12–15	–	–	55–77	85–77	85–100	100–150	90–130	100–120
610 литьевой	15–17	–	–	50–60	70–90	45–70	100–150	100	100–150
П-12Л литьевой	16–18	–	12–13	40–55	60–63	55–65	200–280	80–90	75
Капролон В	20–23	–	–	90–95	100–110	120–150	6–20	100–150	130–150
<i>Полиамиды ароматические</i>									
Фенилон П	–	30–32	–	90	320	120	4	20	180–220
Фенилон С1	–	30–32	–	100	220	150	5	20	180
Фенилон С2	–	30–32	–	120	220	200	6	35	220
<i>Эпоксидные смолы</i>									
ЭД-10, ЭД-14, ЭД-16, ЭД-20, ЭД-22	25–35	–	–	40–90	100–200	80–140	0,5–6,0	5–40	100–115
ЭН-6 (эпоксиповолокно)	–	–	–	–	140	60	–	9–12	300–400
5Н (полиэпоксидные)	–	–	–	–	120–150	60–75	–	8–12	200–300
ЭТФ (на основе мно- гоатомных фенолов)	–	–	–	–	150–190	50–70	–	6–11	220–240

Окончание табл. П.1.1

Полимер, марка полимера	Модуль упругости, $10^2$ , МПа			Предел прочности, МПа			Относительное удлинение после раз- рыва, %	Удельная ударная вязкость, кДж/м <sup>3</sup>	Твер- дость по Бри- нелю, МПа
	при растя- жении	при сжатии	при изгибе	при растя- жении	при сжатии	при изгибе			
К-115, К-176, К-201, К-239, КДЖ-5-20	–	–	–	–	90–120	70–130	–	8–30	80–220
УП-612 (циклоали- фатические)	–	–	–	30–45	160–165	64–90	–	6,5–10	–
УП-632	–	–	–	47–48	160–180	90–100	–	8–10	210–220
Фенолоформальде- гидные смолы	21	–	–	42	–	50–100	2,0	10–20	–
Анилиноформальде- гидные смолы	35	–	–	60–70	140–160	86–140	1,5	0,7	–
Меламиноформаль- дегидные смолы	50-55	–	–	40–56	150–200	55–98	0,5	2,5–6	–
<i>Кремнийорганические смолы</i>									
К-9	17,2	–	–	11	–	–	0,65	–	–
К-9Э	20,6	–	–	21	–	–	1,0	–	–

## Приложение 2

Таблица П.2.1

### Физические свойства полимерных материалов

Полимер, марка полимера	Тип по- ли- мера	Цвет	Молеку- лярная масса, тыс.	Степень кристал- личности, %	Плотность, $10^3$ , кг/м <sup>3</sup>	Температура, К		Тепло- стой- кость по Вика, К
						плавле- ния	стек- лова- ния	
<i>Полиэтилен</i>								
Высокого давления	Т	Белый	30–400	60	0,900–0,939	376–383	223–253	353–363
Низкого давления	Т	Белый	50–800	70–85	0,948–0,959	393–398	–	401–407
Среднего давления	Т	Белый	50–800	90	0,950–0,976	398–405	–	401–407
Полипропилен	Т	Белый	75–200	73–75	0,90–0,91	433–445	253–263	368–373
Полистирол	Т	Бесцветный	–	Аморфный	1,05–1,10	–	366	355–368
<i>Политетрафторэтилен</i>								
Фторопласт-4	Т	Белый	От сотен до 10 млн	90	2,15–2,22	590	153	373–383
Фторопласт-4Д	Т	Белый	–	–	2,21–2,26	590	153	–
Фторопласт-4М	Т	Белый	–	40–50	2,14–2,16	538–558	188	363–393
Фторопласт-40	Т	Белый	–	–	1,65–1,70	533–548	173	413–416
Фторопласт-42	Т	Желтый, белый	–	40–45	1,91–2,00	423–433	223	370–378
Фторопласт-4НА	Т	Белый	–	–	2,0–2,1	483–503	–	363–393

Продолжение табл. П.2.1

Полимер, марка полимера	Тип поли- мера	Цвет	Молеку- лярная масса, тыс.	Степень кристал- личности, %	Плотность, $10^3$ , кг/м <sup>3</sup>	Температура, К		Тепло- стой- кость по Вика, К
						плавле- ния	стек- лова- ния	
<i>Полиметиленоксид (полиформальдегид)</i>								
Гомолимер	Т	Молочно- белый	30–120	70–100	1,43	446–451	213	423–428
Сополимер	Т	Белый	–	менее 70	1,39–1,41	437–441	–	–
Полифениленсульфид (райтон-6) (США)	Т	Белый, светло- бежевый	20	Высокая	1,34	555–560	356–360	–
Полиэфирмалеинаты	Р	Бесцветные, желтые, красные	0,5–3	Аморфные и кристал- лические	1,21–1,35	–	–	328–523
<i>Полифениленоксид</i>								
Арилокс	Т	Белый	30–700	Кристалли- ческие	1,06	530	480–520	403–453
РРО (США)	Т	Белый	30–700	Кристалли- ческие	1,06	533	503–523	–
Норил (США)	Т	Белый	30–700	Кристалли- ческие	1,06	533	503–523	–
Полиэтилентерефталат (лавсан)	Т	Белый	–	40–60	1,34–1,41	530–540	340–350	433–463
Поликарбонат (дифлон)	Т	Бесцветный	50–200	10–40	1,2	493–513	422	423–433

Продолжение табл. П.2.1

Полимер, марка полимера	Тип поли- мера	Цвет	Молеку- лярная масса, тыс.	Степень кристал- личности, %	Плотность, $10^3$ , кг/м <sup>3</sup>	Температура, К		Тепло- стой- кость по Вика, К
						плавле- ния	стек- лова- ния	
Полиарилат (U-1060) (Япония)	Т, Р	Бесцветный	100–160	Аморфные	1,11–1,21	520-610	–	483–553
Полиоксибензоат	Т	Белый	–	Высокая	1,40–1,45	700	430	–
<i>Полиэфирсульфон ароматический</i>								
Арилон (США)	Т	Белый, бесцветный	3–230	Аморфные	1,14	–	–	–
Астрель (США)	Т	То же	3–230	Аморфные	1,36	–	560	–
Удель (США)	Т	То же	3-230	Аморфные	1,25	–	460	–
ICI-200Р (США)	Т	То же	3–230	Аморфные	1,37	–	500	–
Полиимиды	Т, Р	Белый, желтый, красный	50–150	Кристалли- ческие, аморфные	1,33–1,41	более 673	470–630	–
Полиамиды алифатические	Т	Белый, бесцветный	10–30	40–60	1,09–1,14	458–537	448–523	433–503
<i>Полиамиды ароматические</i>								
Фенилон П	Т	От молочно- белого до желтого	–	Высокая	1,35	703	543	533–543
Фенилон С1	Т	То же	–	Высокая	1,35	703	543	543–548
Фетилон С2	Т	Желтый	–	Высокая	1,35	703	543	563–573



Продолжение табл. П.2.1

Полимер, марка полимера	Тип поли- мера	Цвет	Молеку- лярная масса, тыс.	Степень кристал- личности, %	Плотность, $10^3$ , кг/м <sup>3</sup>	Температура, К		Тепло- стой- кость по Вика, К
						плавле- ния	стек- лова- ния	
<i>Эпоксидные смолы</i>								
ЭД-10, ЭД-14, ЭД-16, ЭД-20, ЭД-22	Р	От светло- желтого до коричне- вого	0,3–3,8	аморфные	1,16–1,25	418–428	333–353	–
ЭН-6 (эпоксисовлачные)	Р	Светло- желтый, желтый	–	аморфные	1,1–1,2	418–428	–	–
ЭТФ (на основе мно- гоатомных фенолов)	Р	Светло- желтый, желтый	–	аморфные	–	418–428	–	–
К-115, К-168, К-176, К-201, К-239, КДЖ-5-20, КДЖ-5-40	Р	Светло- желтый, желтый	–	аморфные	1,11–1,15	418–428	–	–
УП-612 (циклоалифатические)	Р	Желтый	–	аморфные	–	418–428	–	–
УП-632	Р	Желтый	–	аморфные	–	418–428	–	–
Фенолоформальдегид- ные смолы	Р	От желтого до коричне- вого	–	аморфные	1,25–1,28	–	–	–

Окончание табл. П.2.1

Полимер и его марка	Тип полимера	Цвет	Молекулярная масса, тыс	Степень кристалличности, %	Плотность, $10^3$ , кг/м <sup>3</sup>	Температура, К		Теплостойкость по Вика, К
						плавления	стеклования	
Анилиноформальдегидные смолы	Р	То же	–	аморфные	1,22–1,25	–	–	–
Меламиноформальдегидные смолы	Р	Бесцветные, прозрачные	–	аморфные	–	–	–	–
Кремнийорганические полимеры (полидиметилфенилсилоксан)	Р	Бесцветный	2,5–600	аморфные	–	–	–	–

Примечание. Р – реактопласт, Т – термопласт.

Приложение 3

Таблица П.3.1

Физические свойства полимеров

Полимер, марка полимера	Температура эксплуата- ции, К	Удельная теплоемкость, кДж/(кг · К)	Коэффициент линейного расширения, $10^{-5} \text{ К}^{-1}$	Коэффици- ент тепло- проводности, Вт/(м · К)	Объемное удельное элек- тросопротивле- ние, Ом · м	Диэлек- триче- ская про- ница- емость, при 10 Гц
<i>Полиэтилен</i>						
высокого давления	223–343	1,88–2,51	21–55	0,33–0,36	$10^{14}–10^{16}$	2,2–2,4
низкого давления	213–373	1,88–2,09	10–55	0,42–0,44	$10^{14}–10^{16}$	2,2–2,4
среднего давления	213–373	1,67–1,88	10–15	0,46–0,52	$10^{15}–10^{16}$	2,3–2,4
Полипропилен	393–413	1,93	11	0,12–0,15	$10^{14}–10^{15}$	2,2–2,4
Полистирол	338–343	1,26–1,34	6–8	0,093–0,14	$10^{15}$	2,6–2,7
<i>Политетрафторэтилен</i>						
Фторопласт-4	4–533	1,04	25	0,24	$10^{15}–10^{18}$	1,9–2,2
Фторопласт-4Д	4–533	–	–	0,29	$10^{14}–10^{15}$	2,1
Фторопласт-4М	78–483	1,17	9	0,26	$10^{15}$	1,9–2,1
Фторопласт-40	173–473	–	6–9	–	$10^{14}–10^{15}$	2,5–2,6
Фторопласт-42	213–393	–	12	–	$7 \times 10^8–10^{10}$	10–11,3
Фторопласт-4НА	73–473	–	–	–	$10^{12}$	7–8*
<i>Полиметиленоксид (полиформальдегид)</i>						
Гомолимер	–	1,47	8–13	0,25–0,29	$10^{12}–10^{13}$	3,5–3,8
Сополимер	213–398	–	–	–	–	–

Продолжение табл. П.3.1

Полимер, марка полимера	Температура эксплуата- ции, К	Удельная теплоемкость, кДж/(кг · К)	Коэффициент линейного расширения, $10^{-5} \text{ К}^{-1}$	Коэффици- ент тепло- проводности, Вт/(м · К)	Объемное удельное элек- тросопротивле- ние, Ом · м	Диэлек- триче- ская про- ница- емость, при 10 Гц
Полифениленсульфид (райтон-6) (США)	470–530	–	5,4	0,28	$10^{14}$	3,1
Полиэфирмаленнаты	323	1,05–2,30	7–20	0,15–0,22	$10^{10}$ – $10^{13}$	2,8–5,0
<i>Полифениленоксид</i>						
Арилокс	390–400	–	–	–	$(1,5–2) \times 10^{15}$	2,5
РРО (США)	393–403	–	2,9	–	$10^{16}$	2,58
Норил (США)	393–403	–	3,3	–	$10^{15}$	2,64
Полиэтилентерефталат (лавсан)	210–440	1,13–1,29	5,3	0,14	$10^{12}$	3,2–3,3
Поликарбонат (дифлон)	173–408	1,17	6	0,20–0,22	$5 \times 10^{14}$	2,6–3,2
Полиарилат (U-1060) (Япония)	450–520	–	–	–	$10^{12}$ – $10^{13}$	3,5–4,0
Полиоксибензоат	560	–	5,2	–	$10^{13}$	3,44
<i>Полиэфирсульфон ароматический</i>						
Арилон (США)	–	–	6,5	–	$1,5 \times 10^{14}$	3,1
Астрель (США)	530	–	4,7	–	$3,2 \times 10^{14}$	3,7
Удель (США)	170–440	1,13	5,6	0,25	$5 \times 10^{14}$	3,14
ICI-200P (США)	450	–	5,5	–	$(1–10) \times 10^{15}$	3,5

Продолжение табл. П.3.1

Полимер, марка полимера	Температура эксплуата- ции, К	Удельная теплоемкость, кДж/(кг · К)	Коэффициент линейного расширения, $10^{-5} \text{ К}^{-1}$	Коэффици- ент тепло- проводности, Вт/(м · К)	Объемное удельное элек- тросопротивле- ние, Ом · м	Диэлек- триче- ская про- ница- емость, при 10 Гц
Полиимид	73–640	1,12	2,3–5	0,30	$10^{14}$ – $10^{16}$	3,0–3,5
Полиамиды алифатические	213–423	–	21–45	–	–	3,2–4,6
<i>Полиамиды ароматические</i>						
Фенилон П	533	1,43	3,45	0,18	–	5
Фенилон С1	533	–	3,13	–	$8 \times 10^{11}$ – $1,3 \times 10^{12}$	5
Фенилон С2	533	1,34	–	0,25	$8 \times 10^{11}$ – $1,3 \times 10^{12}$	5
<i>Эпоксидные смолы</i>						
ЭД-10, ЭД-14, ЭД-16, ЭД-20, ЭД-22	393–437	0,8–1,2	4,5–6,5	0,17–0,19	$10^{12}$ – $10^{14}$	3,5–5
ЭН-6 (эпоксिनволачные)	393–473	–	–	–	$3,7 \times 10^{13}$	3,7
ЭТФ (на основе мно- гоатомных фенолов)	393–437	–	–	–	$1,7 \times 10^{14}$	3,3–3,5
К-115, К-168, К-176, К-201, К-239, КДЖ-5-20, КДЖ-5-40	213–433	–	–	–	$10^{13}$ – $10^{14}$	3,2–3,3
УП-612 (циклоалифатические)	393–473	–	–	–	$2 \times 10^{14}$	3,8

77

Окончание табл. П.3.1

Полимер, марка полимера	Температура эксплуата- ции, К	Удельная теплоекость, кДж/(кг · К)	Коэффициент линейного расширения, $10^{-5} \text{ К}^{-1}$	Коэффици- ент тепло- проводности, Вт/(м · К)	Объемное удельное элек- тросопротивле- ние, Ом · м	Диэлек- триче- ская про- ница- емость, при 10 Гц
УП-632 (циклоалифатические)	393–473	–	3–3,4 10	0,35–0,76	$2 \times 10^{12}$ – $1,3 \times 10^{13}$	3,5–4,5
Фенолоформальдегид- ные смолы	473 (длительно)	1,3–2,0	1,5–9	0,12–0,25	$10^9$ – $10^{11}$	–
Анилиноформальде- гидные смолы	200–320	1,05–1,26	5–6	–	$(1–3) \times 10^{11}$	3,7 при 50 Гц
Меламиноформальде- гидные смолы	210–330	–	–	–	–	4,8
Кремнийорганические полимеры	450	–	–	–	$10^{15}$	3–3,5 при 800 Гц

Влияние наполнителей на характеристики полимерных материалов

Вид наполнителя	Плотность, $10^3 \text{ кг/м}^3$	Тип используемого связующего	Свойства, придаваемые полимерному материалу												
			Легкость переработки	Стабильность размеров изделия	Химическая стойкость	Влагостойкость	Прочность при растяжении	Ударная вязкость	Жесткость	Твердость	Антифрикционные свойства	Теплостойкость	Теплопроводность	Электроизоляционные свойства	Электрическая проводимость
<b>Порошкообразные наполнители</b>															
Органические															
Графит	1750–1800	Т, Р	Н	У	У	Н	У	Н	У	У	У	Н	У	Н	У
Сажа газовая	1760–1900	Т, Р	У	У	Н	Н	Н	Н	У	Н	Н	У	У	Н	У
Неорганические															
Асбест хризотил-ловый	2400–3200	Т, Р	Н	У	У	Н	Н	У	У	У	Н	У	Н	У	Н
Аэросил (карбосил, ультрасил, дуросил)	1900–2360	Т, Р	Н	У	Н	Н	Н	У	У	Н	Н	Н	Н	Н	Н
Белая сажа	2100–2200	Т, Р	У	Н	Н	У	Н	У	У	Н	Н	Н	Н	У	Н

Вид наполнителя	Плотность, $10^3 \text{ кг/м}^3$	Тип используемого связующего	Свойства, придаваемые полимерному материалу												
			Легкость переработки	Стабильность размеров изделия	Химическая стойкость	Влагостойкость	Прочность при растяжении	Ударная вязкость	Жесткость	Твердость	Антифрикционные свойства	Теплостойкость	Теплопроводность	Электроизоляционные свойства	Электрическая проводимость
Бентонит	1900–2400	Т, Р	Н	У	Н	Н	Н	У	У	Н	Н	У	Н	Н	Н
Вермикулит	2400–2700	Т, Р	Н	У	У	У	Н	Н	У	У	Н	Н	Н	У	Н
Каолин	2580	Т, Р	У	У	У	У	Н	Н	У	У	У	У	Н	Н	Н
Мел	2930	Т, Р	У	У	Н	Н	Н	Н	У	Н	Н	Н	Н	Н	Н
Слюда	2700–3100	Т, Р	Н	У	У	У	Н	Н	У	У	У	У	Н	У	Н
Тальк	2770–3200	Т, Р	У	У	У	У	Н	Н	У	У	У	У	Н	У	Н
Металлические															
Алюминий пластинчатый	2700	Т, Р	Н	У	У	Н	Н	Н	Н	Н	Н	У	Н	Н	Н
Алюминий порошкообразный	2700	Р	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н
Бронза порошкообразная	8900	Р	Н	Н	Н	Н	Н	Н	У	У	Н	Н	У	Н	У



Вид наполнителя	Плотность, $10^3$ кг/м <sup>3</sup>	Тип используемого связующего	Свойства, придаваемые полимерному материалу												
			Легкость переработки	Стабильность размеров изделия	Химическая стойкость	Влагостойкость	Прочность при растяжении	Ударная вязкость	Жесткость	Твердость	Антифрикционные свойства	Теплостойкость	Теплопроводность	Электронные свойства	Электрическая проводимость
<b>Полые микросферы</b>															
Оксид алюминия	400–600	Т, Р	Н	Н	Н	Н	Н	У	У	Н	Н	Н	Н	У	Н
Оксид циркония	800–900	Т, Р	Н	Н	Н	Н	Н	У	У	Н	Н	Н	Н	У	Н
Стекло	220–400	Т, Р	Н	Н	Н	Н	Н	У	У	Н	Н	Н	Н	У	Н
БВ-01	240–310	Р	Н	Н	Н	Н	Н	У	У	Н	Н	Н	Н	У	Н
<b>Волокнистые наполнители</b>															
<b>Органические</b>															
Волокно вискозное	–	Р	Н	У	Н	Н	У	У	У	У	Н	Н	Н	У	Н
Волокно полиакрилонитрильное	–	Т, Р	У	У	У	У	У	У	У	У	Н	У	Н	У	Н
Волокно углеродное	–	Т, Р	Н	Н	Н	Н	У	Н	У	Н	Н	Н	У	Н	У

Вид наполнителя	Плотность, $10^3 \text{ кг/м}^3$	Тип используемого связующего	Свойства, придаваемые полимерному материалу													
			Легкость переработки	Стабильность размеров изделия	Химическая стойкость	Влагостойкость	Прочность при растяжении	Ударная вязкость	Жесткость	Твердость	Антифрикционные свойства	Теплостойкость	Теплопроводность	Электронные свойства	Электрическая проводимость	
Волокно хлопковое	–	Р	Н	У	Н	Н	У	У	У	У	У	Н	Н	Н	У	Н
Неорганические																
Волокно асбестовое	3700	Т, Р	Н	У	У	У	У	У	У	У	У	Н	У	Н	У	Н
Волокно стеклянное	2200	Т, Р	Н	У	У	У	У	У	У	У	У	Н	У	Н	У	Н
<i>Примечание.</i> Р – реактопласт, Т – термопласт, У – наполнитель, улучшающий свойства, Н – наполнитель, не влияющий на свойства.																

Составы наполненных полимерных материалов, режимы их изготовления и области применения

Тип материала, марки, состав	Метод и режим изготовления	Температура эксплуатации, К	Область применения
<b>Полимерные материалы на основе полиэтилена</b>			
<p>Полиэтилен, наполненный высокодисперсными порошковыми (мел, тальк, слюда, аэросил, сажа, силикаты, диоксид титана и др.) и волокнистыми (асбестовое, синтетическое, стеклянное и другие волокна, ткани) наполнителями. Содержание наполнителя составляет от 10 до 50 %</p>	<p><i>Литье под давлением</i>  <math>T_{расп} = 453 \div 493 \text{ К}, T_{ф} = 303 \div 333 \text{ К}, p_{уд} = 80 \div 110 \text{ МПа}</math>                      для материалов на основе полиэтилена высокого давления;  <math>T_{расп} = 453 \div 533 \text{ К}, T_{ф} = 313 \div 353 \text{ К}, p_{уд} = 80 \div 120 \text{ МПа}</math>                      для материалов на основе полиэтилена низкого давления  <i>Прямое прессование</i>  <math>T = 343 \div 463 \text{ К}</math> для материалов на основе полиэтилена высокого давления, <math>T = 383 \div 433 \text{ К}</math> для материалов на основе полиэтилена низкого давления, <math>p_{уд} = 7 \div 10 \text{ МПа}</math>.  <i>Экструзия</i>  <math>T = 433 \div 463 \text{ К}</math> для материалов на основе полиэтилена высокого давления; <math>T = 423 \div 463 \text{ К}</math> для материалов на основе полиэтилена низкого давления.  <i>Экструзия с раздувом, ротационное формование</i></p>	<p>233–343 (для материалов на основе полиэтилена высокого давления)                       213–373 (для материалов на основе полиэтилена низкого давления)</p>	<p>Конструкционные материалы, обладающие по сравнению с чистым полиэтиленом повышенной прочностью, жесткостью, стойкостью к растрескиванию, а также электроизоляционные материалы. Изделия из наполненного полиэтилена применяются в машиностроении, химической, авиационной, судостроительной, электротехнической промышленности</p>

Продолжение табл. П.5.1

Тип материала, марки, состав	Метод и режим изготовления	Температура эксплуатации, К	Область применения
<b>Полимерные материалы на основе полипропилена с волокнистыми наполнителями</b>			
Полипропилен, наполненный асбестом и другими добавками	Литье под давлением	340–400	Изделия технического назначения с повышенной теплостойкостью
Полипропилен, наполненный 20–40 % стеклянного волокна	Литье под давлением, экструзия, ротационное формование гранул	343–410	Конструкционный и электроизоляционный материалы для машиностроения, приборостроения, электротехники, производства ЭВМ и других отраслей техники
<b>Полимерные материалы на основе полистирола</b>			
<b>с порошковыми наполнителями</b>			
Пресс-материал ПТ на основе эмульсионного полистирола, наполненного диоксидом титана и др. добавками	Прямое прессование $T = 453 \pm 5 \text{ К}$ , $p = 15 - 20 \text{ МПа}$	233–345	Радиотехнические изделия, высокочастотные детали, печатные платы
Материалы АТ-1, АТ-2: сополимер стирола с акрилонитрилом, диоксид титана, алюминиевая пудра и другие добавки	Литье под давлением $T = 463 \div 483$ , $p = 100 \text{ МПа}$ Материал пригоден для многократной переработки	233–343	Изделия, отличающиеся высокой теплостойкостью, стойкостью к минеральным маслам и бензину: типографский шрифт, пробельный материал и др.

Продолжение табл. П.5.1

Тип материала, марки, состав	Метод и режим изготовления	Температура эксплуатации, К	Область применения
наполненные стекловолокном			
Пресс-материал АГ-7: полистирол, стекловолокно и другие добавки	Прямое и литьевое прессование Материал хорошо поддается механической обработке	338–343	Высокочастотные детали и изделия с повышенной ударной прочностью, не стойкие к действию бензина, масла и щелочей
Полистирол, наполненный 20–30 % стекловолокна	Литье под давлением, экструзия, ротационное формование гранул	340–360	Конструкционный и электроизоляционный материал
Материал СН-25С: стеклонеполненный сополимер стирола с нитрилом акриловой кислоты	Литье под давлением: $T_{расп} = 473 \div 503 \text{ К}$ , $T_{ф} = 313 \div 333 \text{ К}$ и $p_{уд} \geq 120 \text{ МПа}$	300–360	Прецизионные детали технического назначения для радио- и электротехнической промышленности, приборостроения.
Термопласт стеклонеполненный САН-С: сополимер стирола с акрилонитрилом, стекловолокном и добавками	Литье под давлением: $T = 483 \div 503$ , $p = 120 \div 140 \text{ МПа}$ . Усадка составляет от 0,2 до 0,4 %	233–353	Изделия конструкционного назначения
<b>Полимерные материалы на основе политетрафторэтилена:</b>			
с порошковыми наполнителями			
Композиция Ф-4К20: фторопласт-4, наполненный коксом	Прессование с последующим спеканием	213–523	Детали антифрикционного назначения, работающие в высоком вакууме и газовых средах

Продолжение табл. П.5.1

Тип материала, марки, состав	Метод и режим изготовления	Температура эксплуатации, К	Область применения
Композиция Ф-4К15М5: фторопласт-4, наполненный 15 % кокса и 5 % дисульфида молибдена	Прессование с последующим спеканием	213–523	Детали антифрикционного назначения, работающие в среде влажных газов
Антифрикционные материалы ФН-202, ФН-3: фторопласт-4, никель порошкообразный, нитрид бора, дисульфид молибдена	Прессование с последующим спеканием	213–523	Детали антифрикционного назначения
Антифрикционный материал Ф-40Г40: фторопласт-40П и графит	Прессование с последующим спеканием, охлаждением и термической обработкой. Механическая обработка заготовок проводится при больших скоростях	213–473	Детали, узлы трения, работающие в воде и на воздухе
Антифрикционные композиции Ф-40Г20, Ф-40М30, Ф-40Б70: фторопласт-40, дисульфид молибдена, графит, оловянистофосфористая бронза	Прессование с последующим спеканием, охлаждением и термической обработкой	213–473	Детали антифрикционного назначения

Тип материала, марки, состав	Метод и режим изготовления	Температура эксплуатации, К	Область применения
наполненные керамическим волокном			
Дюроид 5600 и 5650: политetraфторэтилен, наполненный 40 % и 25 % керамического волокна соответственно	Водная дисперсия политetraфторэтилена смешивается с водной суспензией керамических волокон, пропускается через измельчительное устройство и формуется в виде листов на модифицированной бумагоделательной машине	Длительно до 533 Кратковременно до 583	Прокладки и уплотнения в клапанах, насосах и другом оборудовании, подвергающемся воздействию повышенной температуры, агрессивных сред. Волноводы, внутренняя изоляция конусов ракет, антенны ракет
наполненные стекловолокном			
Композиция Ф-4С15: фторопласт-4, наполненный 15 % размолотого стекловолокна	Стеклонаполненный фторопласт-4 загружается в холодную форму, нагревается до температуры 293–303 К и прессуется при удельном давлении 50–100 МПа. Затем отформованное изделие подвергается термической обработке при температуре 633 – 653 К в течение 1 ч на 10 мм толщины изделия и охлаждается при давлении 5–30 МПа или при нормальном давлении	213–523	Детали антифрикционного назначения и изделия, работающие в среде сухих агрессивных газов
Композиция Ф-4С15М5: фторопласт-4, наполненный 15 % размолотого стекловолокна и 5 % дисульфида молибдена	Прессование с последующим спеканием	213–523	Детали антифрикционного назначения и изделия, работающие в условиях высокого вакуума, сухого и влажного воздуха и газов

Продолжение табл. П.5.1

Тип материала, марки, состав	Метод и режим изготовления	Температура эксплуатации, К	Область применения
Композиция Ф-40С15: фторопласт-40ЛД, наполненный рубленым стекложгутом	Литье под давлением	213–523	Изделия конструкционного и электроизоляционного назначения, подвергнутые радиационной модификации и работающие в среде бензина, керосина, масел
Композиция Ф-40С15М1,5: фторопласт-40П, наполненный 15 % стекловолокна и 1,5 % дисульфида молибдена	Прессование при температуре 543–568 К и давлении 30 МПа с последующей выдержкой от 2 до 10 мин под давлением. Охлаждение под давлением до температуры 213–233 К	173–483	Втулки, подшипники скольжения, пригодные для работы в воде
Антифрикционный материал Ф-4С15В5: фторопласт-4, наполненный размолотым стекловолокном и нитридом бора	Прессование с последующим спеканием	173–483	Изделия с высокой химической стойкостью и износостойкостью, а также с высокими показателями механических свойств в широком интервале температур
Фторопласт-4Д, армированный стеклотканью типа ЭСТБ	Ткань пропитывается суспензией фторопласта-4Д, пакет заготовок пропитанной ткани спрессовывается и нагревается до температуры 633–643 К под давлением. После спекания слоев материал охлаждается под давлением	213–523	Изделия с высокой химической стойкостью и высокими показателями механических характеристик



Продолжение табл. П.5.1

Тип материала, марки, состав	Метод и режим изготовления	Температура эксплуатации, К	Область применения
<b>Полимерные материалы на основе полиметиленоксида (полиформальдегида)</b>			
с порошковыми наполнителями			
Материал СФД-ДМ: сополимер формальдегида с диоксоланом, наполненный дисульфидом молибдена	Литье под давлением	213–393	Антифрикционный и конструкционный материал для изделий сложной конфигурации
Материал СФД-ВМ: сополимер модифицированного формальдегида, наполненный тальком и нитридом бора	Литье под давлением	213–393	Точные детали конструкционного назначения
наполненные стекловолокном			
Материал СФД-30С: сополимер формальдегида с диоксоланом, наполненный 30 % рубленого стекловолокна	Литье под давлением	213–393	Высокопрочные конструкционные изделия
Полиоксиметилен марки дюракон ГР-20, наполненный 20 % стекловолокна длиной 0,5 мм	Литье под давлением на машинах плунжерного (при давлении 105–140 МПа) или шнекового (при давлении 70–80 МПа) типа. Температура цилиндра 443–493 К, температура формования 343–373 К	213–393	Изделия с повышенной теплостойкостью и стабильностью размеров

Тип материала, марки, состав	Метод и режим изготовления	Температура эксплуатации, К	Область применения
<b>Полимерные материалы на основе полифениленсульфида</b>			
Райтон-4 (производство США): полифениленсульфид, наполненный 40 % стекловолокна	Прямое прессование: предварительно отвержденная при температуре 540–555 К композиция формуется при давлении 14–21 МПа с постепенным повышением температуры от 300 до 590 К в течение 1–3 ч. Затем композиция прессуется при давлении 7–28 МПа и охлаждается со скоростью 2 К/мин до температуры 505 К. Затем, при достижении температуры формы 422 К изделие извлекается из пресс-формы Также изделия можно изготавливать литьем под давлением и шприцеванием для формования сложных профилей. Усадка материала составляет порядка 0,2 %	520–533	Конструкционные детали и изделия для машиностроения и химической промышленности
<b>Стеклопластики</b>			
Смолы ПН-1, ПН-3, ПН-11, ПН-62, ПН-63, армированные стеклотканью Т-13. Смолы НПС-609-21М, НПС-609-27, НПС-609-29, армированные стеклотканью Т-11-ГВС-9	Намотка на оправку, укладка в пресс-форму или на обогреваемые плиты пресса заготовок с последующим формованием гидровакуумным, автоклавным и прессовым методами.	213–393	Детали и изделия конструкционного назначения для различных отраслей техники

Тип материала, марки, состав	Метод и режим изготовления	Температура эксплуатации, К	Область применения
<b>Полимерные материалы на основе полифениленоксида</b>			
с порошковыми наполнителями			
Арилокс-1Н: полифениленоксид, наполненный диоксидом титана	Прямое прессование при температуре от 528 до 553 К и давлении 30 МПа с последующим охлаждением до температуры 403 К	213–423	Фольгированные и нефольгированные изделия
наполненные стекловолокном			
Норил-2 (США): полифениленоксид, наполненный 20 % стекловолокна	Прямое прессование при температуре от 528 до 553 К и давлении 30 МПа с последующим охлаждением до температуры 403 К. Усадка составляет от 0,1 до 0,2 %	215–425	Изделия конструкционного назначения
<b>Полимерные материалы на основе полиэтилентерефталата</b>			
Стеклонаполненный литьевой лавсан ЛС-1: полиэтилентерефталат, наполненный стекловолокном	Литье под давлением при температуре 523–533 К при давлении 0,01–0,012 МПа. Технологически рекомендуется предварительная сушка при температуре 393–403 К в течение 5–7 часов. Усадка составляет 0,3–0,5 %.	473	Изделия и детали конструкционного назначения, работающие в условиях влажной атмосферы и при вибрации.
Полиэтилентерефталат, наполненный 30 % стекловолокна (Япония)	Литье под давлением при температуре 523–533 К при давлении 0,01–0,012 МПа. Технологически рекомендуется предварительная сушка при температуре 393–403 К в течение 5–7 ч. Усадка составляет 0,3–0,5 %.	473	Конструкционные материалы для изготовления изделий и деталей технического назначения: деталей и узлов телевизоров, электромоторов, различной электронной аппаратуры

Продолжение табл. П.5.1

Тип материала, марки, состав	Метод и режим изготовления	Температура эксплуатации, К	Область применения
Лавсанотекстолит: полиэтилентерефталат, стеклоткань	Прямое прессование	473	Конструкционные детали и изделия
<b>Полимерные материалы на основе поликарбоната</b>			
наполненные волокнами			
Дифлон СТН: поликарбонат, наполненный 20–30 % стекловолокна длиной от 2 до 6 мм и другие добавки	Литье под давлением. Объемная усадка материала составляет 0,2–0,5 %	422	Высокопрочные конструкционные изделия, к которым предъявляются высокие требования стабильности размеров и теплостойкости
Макролон GV-30 (ФРГ): поликарбонат, наполненный стекловолокном	Литье под давлением. Объемная усадка материала составляет 0,2–0,5 %	422	Высокопрочные конструкционные изделия повышенной теплостойкости
Поликарбонат, наполненный 50 % коротких углеродных волокон	Литье под давлением	416	Изделие с низким коэффициентом трения и высокой износостойкостью
<b>Полимерные материалы на основе полиарилатов</b>			
Антифрикционные самосмазывающиеся пластики АМАН	Прямое прессование	423–573	Детали узлов трения, в которых недопустимо применение жидких смазок. Детали узлов трения для работы в высоком вакууме

Тип материала, марки, состав	Метод и режим изготовления	Температура эксплуатации, К	Область применения
<b>Полимерные материалы на основе полиимидов</b>			
с порошковыми наполнителями			
Пресс-материал ПМ-67-Г-10, ПМ-69-Г-5: полиимид ПМ-67, наполненный 10 или 5 % графита соответственно	Прямое прессование при температуре 653–693 К и удельном давлении 2,5–12 МПа Литье под давлением	473–523	Изделия конструкционного назначения, подшипники скольжения, поршневые кольца, сальники, эксплуатирующиеся при высоких температурах, в условиях радиации, в глубоком вакууме
93 Пресс-материал кайнол 5505 (Франция): полиимид кайнол, наполненный графитом	Прямое прессование при температуре 493–533 К, давлении 10–30 МПа в течение 1–2 мин на 1 мм толщины изделия с предварительным таблетированием при давлении 10–20 МПа и подогревом до 393 К Литье под давлением, спекание	473–523	Детали ракетных двигателей и электрические соединения, детали узлов трения, подшипники и элементы скольжения.
Полиимид Р105Ас, наполненный порошком графита (США)	Прямое прессование при температуре 493–533 К, давлении 10–30 МПа в течение 1–2 мин на 1 мм толщины изделия с предварительным таблетированием при давлении 10–20 МПа и подогревом до 393 К	473–523	Конструкционные детали для самолетостроения и ракетной техники
Полиимидная смола Р13N, наполненная 28 % порошка политетрафторэтилена (США)	Прямое прессование при температуре 493–533 К, давлении 10–30 МПа в течение 1–2 мин на 1 мм толщины изделия с предварительным таблетированием при давлении 10–20 МПа и подогревом до 393 К. Литье под давлением, спекание	473–523	Детали ракетных двигателей и электрические соединения, детали узлов трения, подшипники и элементы скольжения

Тип материала, марки, состав	Метод и режим изготовления	Температура эксплуатации, К	Область применения
наполненные волокнами			
Пресс-материал кайнол 5514 (Франция): полиимид кайнол, наполненный 65 % рубленого стекловолокна длиной 6 мм	Прямое прессование при температуре 493–533 К, давлении 10–30 МПа в течение 1–2 мин на 1 мм толщины изделия с предварительным таблетированием при давлении 10–20 МПа и подогревом до 393 К Литье под давлением, спекание	473–523	Детали ракетных двигателей и узлов трения, подшипники и элементы скольжения, облицовка тормозов
Полиимидная смола P105Ac, наполненная 70 % штапельного углеволокна длиной 6–7 мм (США)	Прямое прессование при температуре 588 К и давлении 2,1–3,5 МПа с выдержкой в течение 4 ч Автоклавное формование при температуре 588 К и давлении 0,7 МПа со скоростью нагрева 3–4 К/мин	613	Конструкционные детали для самолетостроения и ракетной техники, шарики подшипников
Полиимидная смола P13N, армированная 65 % однонаправленного графитового волокна (США)	Прямое прессование при температуре 550–580 К, удельном давлении 2,1–3,5 МПа для изделий толщиной до 6 мм.	533–563	Конструкционные изделия для космической и ракетной техники, детали реактивных двигателей
<b>Полимерные материалы на основе эпоксидных и эпоксифенольных смол</b>			
Пресс-материал УП-264П: эпоксидная смола ЭД-8, наполненная пылевидным кварцем	Прессование при температуре 438 К и давлении 15–100 МПа в течение 4–5 мин на 1 мм толщины изделия с последующей термической обработкой при температуре 433 К в течение 2 ч. Усадка составляет 0,05 %.	213–423	Детали и изделия конструкционного назначения

Продолжение табл. П.5.1

Тип материала, марки, состав	Метод и режим изготовления	Температура эксплуатации, К	Область применения
Пластик ЭДС литьевого типа: эпоксидные смолы ЭД, наполненные стеклянными микросферами	Компоненты смешиваются до получения вязкой жидкости, заливаются в форму и отверждаются при температуре 353–393 К и давлении 0,5–1,5 МПа	213–423	Глубоководные поплавки, буи и различные плавающие средства, абляционно-стойкие покрытия, тепло- и звукоизоляция
Пресс-материал УП-264С: эпоксидная смола ЭД-8, наполненная стекловолокном и другими добавками	Прессование при температуре 438 К и давлении 10–70 МПа в течение 4–5 мин на 1 мм толщины изделия с последующей термической обработкой при температуре 433 К в течение 2 ч	213–423	Детали и изделия конструкционного назначения, электроизоляционный материал
<b>Полимерные материалы на основе фенольных смол</b>			
с порошковыми наполнителями			
Массы прессовочные фенольные (ГОСТ 5689-79): фенолоформальдегидная или фенолоанилиноформальдегидная смола (модифицированная или немодифицированная), наполненная минеральным или органическим наполнителем	Прямое прессование при температуре 343–463 К и давлении 25–35 МПа Литьевое прессование при температуре 443–473 К и давлении 40–120 МПа Литье под давлением при температуре 450–460 К и давлении 80–120 МПа	213–493	Детали общего, технического, электроизоляционного назначений. Изделия с повышенной влаго- и теплостойкостью, химической стойкостью и ударпрочностью

Продолжение табл. П.5.1

Тип материала, марки, состав	Метод и режим изготовления	Температура эксплуатации, К	Область применения
Пресс-материал К-15-6: фенолоформальдегидная смола, наполненная асбестом, баритом, латунной стружкой и электрокорундом	Прямое прессование при температуре 440–450 К и давлении 40–50 МПа с выдержкой в течение 1,5–2 мин на 1 мм толщины изделия	873–1173 (в кратковременном режиме)	Фрикционные детали и изделия с повышенным и стабильным коэффициентом трения
Пресс-материалы КФ-3, КФ-3М, КФ-3Г: резольная фенолоформальдегидная смола, наполненная каолином, кизельгуром или графитом	Прямое прессование при температуре 450–460 К и давлении 45 – 50 МПа с выдержкой в течение 1,5–3 мин на 1 мм толщины изделия	873–1173 (в кратковременном режиме)	Фрикционные материалы для изготовления деталей тормозных устройств с повышенным и стабильным коэффициентом трения
армированные хлопчатобумажной тканью			
Текстолит конструкционный (ГОСТ 5-78): крезоло- или фенолоформальдегидная смола либо их смесь и хлопчатобумажная ткань	Прямое прессование при температуре 430–440 К и давлении 40–45 МПа с выдержкой в течение 2 мин на 1 мм толщины изделия Материал подвергается всем видам механической обработки и склейке между собой и с другими пластиками и металлами	233–378	Для изготовления шестерен, червячных колес, подшипников скольжения, роликов, амортизационных прокладок, панелей, вкладышей подшипников прокатных станков и других изделий технического назначения



Тип материала, марки, состав	Метод и режим изготовления	Температура эксплуатации, К	Область применения
Текстолит электротехнический листовой (ГОСТ 2910-74): термоактивные смолы, хлопчатобумажные ткани и другие добавки функционального назначения	Прямое прессование при температуре 430–440 К и давлении 40–45 МПа с выдержкой в течение 2 мин на 1 мм толщины изделия	208–393	Детали и изделия с улучшенными электрическими свойствами, работающие на воздухе, в транспортном масле, а также в среде с относительной влажностью $95 \pm 2\%$
наполненные древесиной			
97 Массы древесные прессовочные (ГОСТ 11368-79): фенолоформальдегидные смолы или их модификации, частицы древесины в виде крошки шпона, измельченных отходов, стружки, опилок	Прямое прессование при температуре 420–430 К и удельном давлении 50–60 МПа с выдержкой в течение 1–2 мин на 1 мм толщины изделия	420–430	Различные детали машин, детали антифрикционного назначения, электроизоляционные детали и элементы строительных конструкций
Пластики древесные слоистые ДСП-В (ГОСТ 13913-78): фенолоформальдегидные смолы и древесный шпон с различной укладкой смежных слоев	Прямое прессование при температуре 420–430 К и удельном давлении 50–60 МПа с выдержкой в течение 1–2 мин на 1 мм толщины изделия	420–430	Конструкционные и самосмазывающиеся антифрикционные материалы Электроизоляционные материалы для деталей аппаратуры высокого напряжения и электрических машин

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	3
Глава 1. Состояние и перспективы развития производства полимерных материалов .....	5
Глава 2. Групповая классификация полимерных материалов.....	9
Глава 3. Структура, свойства и технология переработки полимерных материалов .....	12
3.1. Полиэтилен.....	12
3.2. Полипропилен.....	14
3.3. Полистирол.....	16
3.4. Политетрафторэтилен и его модификации.....	17
3.5. Полиметиленоксид .....	21
3.6. Полифениленсульфид .....	22
3.7. Полиэфирмалеинаты .....	23
3.8. Полифениленоксид.....	25
3.9. Полиэтилентерефталат .....	26
3.10. Поликарбонаты .....	26
3.11. Полиарилаты .....	28
3.12. Полиоксибензоаты.....	29
3.13. Полиэфирсульфоны ароматические.....	30
3.14. Полиимиды.....	31
3.15. Полиамиды .....	32
3.16. Эпоксидные смолы .....	34
3.17. Фенолоформальдегидные смолы .....	36
3.18. Анилиноформальдегидные смолы .....	38
3.19. Фурановые смолы.....	39
3.20. Мочевиноформальдегидные смолы .....	41
3.21. Меламиноформальдегидные смолы.....	42
3.22. Кремнийорганические полимеры.....	44
Глава 4. Виды, свойства и области применения наполнителей полимерных матриц.....	46
4.1. Порошкообразные наполнители.....	47
4.1.1. Органические порошкообразные наполнители .....	48
4.1.2. Неорганические порошкообразные наполнители.....	50
4.1.3. Полые микросферы .....	53
4.2. Волокнистые наполнители.....	54
4.2.1. Органические волокнистые наполнители .....	55
4.2.2. Неорганические волокнистые наполнители.....	56

Глава 5. Технологические особенности обработки давлением полимерных материалов .....	57
Глава 6. Свойства наполненных полимерных материалов .....	62
Литература .....	64
Приложения .....	65

Учебное электронное издание комбинированного распространения

Учебное издание

**Ковтун Вадим Анатольевич**

**ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ  
И НАПОЛНИТЕЛИ: СВОЙСТВА,  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ  
ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ**

**Учебно-методическое пособие  
по дисциплине «Обработка давлением полимерных  
материалов» для студентов специальности 1-36 01 05  
«Машины и технология обработки материалов давлением»  
дневной формы обучения**

**Электронный аналог печатного издания**

Редактор  
Компьютерная верстка

*М. В. Аникеенко  
В. В. Вороник*

Подписано в печать 17.08.10.  
Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.  
Ризография. Усл. печ. л. 5,81. Уч.-изд. л. 5,17.  
Изд. № 262.  
E-mail: [ic@gstu.by](mailto:ic@gstu.by)  
<http://www.gstu.by>

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Издательский центр учреждения образования  
«Гомельский государственный технический университет  
имени П. О. Сухого».  
ЛИ № 02330/0549424 от 08.04.2009 г.  
246746, г. Гомель, пр. Октября, 48.