

**А. И. Смирнова  
Е. Ю. Демьянцева  
И. И. Осовская**

**ОРГАНИЗАЦИЯ УЧЕБНОЙ  
(ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ (ПРОЕКТНО-  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ)) ПРАКТИКИ  
СТУДЕНТОВ НА КАФЕДРЕ ФИЗИЧЕСКОЙ  
И КОЛЛОИДНОЙ ХИМИИ**

**Учебно-методическое пособие**

**Санкт-Петербург  
2024**

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
**«Санкт-Петербургский государственный университет  
промышленных технологий и дизайна»  
Высшая школа технологии и энергетики**

**А. И. Смирнова  
Е. Ю. Демьянцева  
И. И. Осовская**

**ОРГАНИЗАЦИЯ УЧЕБНОЙ  
(ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ (ПРОЕКТНО-  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ)) ПРАКТИКИ  
СТУДЕНТОВ НА КАФЕДРЕ ФИЗИЧЕСКОЙ  
И КОЛЛОИДНОЙ ХИМИИ**

**Учебно-методическое пособие**

Утверждено Редакционно-издательским советом ВШТЭ СПбГУПТД

Санкт-Петербург  
2024

УДК 541.1 (07)  
ББК 24.5я7  
С 506

*Рецензенты:*

доктор химических наук, доцент, главный научный сотрудник  
Института высокомолекулярных соединений РАН

*А. В. Теньковцев;*

доктор химических наук, доцент, профессор Высшей школы технологии и энергетики  
Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна

*А. Б. Дягилева*

**Смирнова, А. И.**

**С 506** Организация учебной (технологической (проектно-технологической)) практики студентов на кафедре физической и коллоидной химии: учебно-методическое пособие / А. И. Смирнова, Е. Ю. Демьянцева, И. И. Осовская. — СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2024. — 97 с.

Учебно-методическое пособие соответствует программе и учебному плану учебной (технологической (проектно-технологической)) практики для студентов, обучающихся по направлению подготовки 18.03.01 «Химическая технология», профиль «Технология и переработка полимеров».

В учебно-методическом пособии представлен порядок прохождения практики, типы заданий, требования к содержанию и оформлению отчета по ней.

УДК 541.1 (07)  
ББК 24.5я7

© ВШТЭ СПбГУПТД, 2024  
© Смирнова А. И., Демьянцева  
Е. Ю., Осовская И. И., 2024

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. РОЛЬ ПРАКТИКИ В ПОДГОТОВКЕ СТУДЕНТОВ.....	5
2. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ПРОВЕДЕНИЯ ПРАКТИКИ.....	7
3. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ В АНАЛИТИЧЕСКИХ ЛАБОРАТОРИЯХ (ПНД Ф 12.13.1-03) .....	9
3.1. Общие положения .....	9
3.2. Средства индивидуальной защиты.....	9
3.3. Правила пожарной безопасности в лаборатории.....	10
3.4. Правила электробезопасности в лаборатории.....	11
4. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ УЧЕБНОЙ (ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ (ПРОЕКТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ)) ПРАКТИКИ.....	12
4.1. Задачи практики .....	12
4.2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате прохождения практики .....	12
4.3. Индивидуальное задание.....	14
5. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРИАЛОВ .....	15
5.1. Термопластичные полимеры.....	15
5.2. Термореактивные полимеры .....	24
5.3. Переработка полимерных материалов.....	47
6. ФОРМЫ ОТЧЕТНОСТИ ПО ПРАКТИКЕ .....	64
7. ФОРМЫ, ПОРЯДОК АТТЕСТАЦИИ И КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ПО ПРАКТИКЕ .....	66
ЛИТЕРАТУРА .....	68
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	69

## **ВВЕДЕНИЕ**

Основная образовательная программа бакалавриата, реализуемая Высшей школой технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна по направлению подготовки 18.03.01 «Химическая технология» по профилю подготовки «Технология и переработка полимеров» представляет собой систему документов, разработанную и утвержденную высшим учебным заведением на основе федерального государственного образовательного стандарта по соответствующему направлению подготовки высшего образования (ФГОСВО), а также с учетом рекомендованной примерной образовательной программы.

Образовательная программа регламентирует цели, ожидаемые результаты, содержание, условия и технологии реализации образовательного процесса, оценку качества подготовки выпускника по данному направлению подготовки и включает в себя: учебный план, рабочие программы учебных курсов, предметов, дисциплин (модулей) и другие материалы, обеспечивающие качество подготовки обучающихся, а также программы учебной и производственной практики, календарный учебный график и методические материалы, обеспечивающие реализацию соответствующей образовательной технологии.

## 1. РОЛЬ ПРАКТИКИ В ПОДГОТОВКЕ СТУДЕНТОВ

Практика студентов – это неотъемлемая часть программы высшего образования, в зависимости от ее вида различают:

- учебная практика;
- производственная практика.

Практический опыт необходим для качественной подготовки бакалавра, так как именно он помогает сделать правильный выбор будущей профессиональной самореализации. Практика позволяет закрепить и углубить полученные в ходе обучения научно-теоретические знания посредством их практического применения на предприятии, сталкиваясь с реальными проблемами каждодневной деятельности.

Главным плюсом производственной практики является также и то, что она помогает ответить на главный вопрос студента: «Правильно ли я выбрал специальность? Правильно ли я выбрал специализацию?». Рассмотрим, каким образом это происходит. Средний возраст абитуриента (лица, поступающего в учебное заведение) 17–18 лет, в таком возрасте выпускник школы зачастую неспособен сделать правильный выбор. Чтобы принять верное решение, абитуриенту необходимо руководствоваться своими интересами, способностями и склонностями. Если этого не происходит, то в стрессовой ситуации при необходимости выбора будущей профессии, скором вступлении во взрослую жизнь, смене окружающей обстановки и возможном давлении со стороны окружающих, мнение молодого человека может стать зависимым от мнения старших членов семьи, друзей, учителей, уровня общественного признания вуза и доступности информации о специальности. Таким образом, зачастую решение принимается необдуманно и второпях.

Профориентационная деятельность, проводимая в школе, или «день открытых дверей» – в вузе, несмотря на свою разносторонность и информативность, дают лишь общее представление о будущей специальности и вузе, ставя на карту будущую судьбу и профессию человека. Кроме того, нельзя исключать возможность, что студент, обучаясь в институте, может и не подозревать, что он сделал неправильный выбор. Невозможно понять свою специальность, изучая только теорию, делая лабораторные работы и практикумы. Нужен непосредственный контакт с будущей работой, нужно знать, с чем придется столкнуться в реальной жизни, оценить свое отношение к профессии, свои знания, умения, навыки, возможность самореализации и узнать об условиях труда. В этом случае спасает практика, которая соединяет теоретические знания и раскрывает работу по выбранной специальности изнутри.

Другая немаловажная проблема, которую решает практика, – это определение специализации (направления специальности). Каждый человек слышал фразу «Забудьте то, чему учили вас в институте (школе и др.)». Это связано с тем, что при имеющемся большом спектре знаний, только на

производстве, в реальном деле, возможно раскрыть тонкости какой-либо профессии. То есть, на наш взгляд, проблема заключается именно в применении на практике теоретических знаний.

Третьей положительной чертой практики является приобретение опыта работы. Практика длится сравнительно небольшой срок, за который студент должен влиться в коллектив, узнать ближе свою специальность и проявить себя в работе на предприятии с лучшей стороны.

В-четвертых, производственная практика способствует развитию навыков и умений, необходимых специалисту. Также, работая на предприятии во время практики, можно оценить свою теоретическую базу и углубить знания по необходимым направлениям, что является немаловажным плюсом.

Благодаря производственной практике у студента имеется исключительная возможность зарекомендовать себя перед потенциальными работодателями в качестве ответственного, старательного, умелого и эрудированного работника. В настоящее время опыт работы является камнем преткновения для большинства безработных людей, так как порой именно он не позволяет получить желаемую вакансию. Практика значительно упрощает получение желаемой должности и возможность устроиться на предприятие, где студент уже отлично себя проявил ранее.

Возможно, что на первой практике полезно было бы совместить некоторые аспекты учебно-ознакомительной и производственной практик, ведь именно на ней студенты получают ценный опыт работы. Кроме вышперечисленного, улучшению эффективности пройденной практики способствуют разнообразные поощрения, будь то грамоты или премии, от директора вуза или предприятия, на котором студент проходил практику. Они стимулируют студента к еще большему старанию и стремлению развиваться как специалист.

Практика – необходимая часть обучения студента, благодаря которой вместе сходятся теория и практическая деятельность будущего специалиста, что доказывается имеющимся в нашем институте опытом практико-ориентированной подготовки студентов. Ее прохождение является залогом успешного выпускника вуза, востребованного на рынке труда в настоящее время.

## 2. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ПРОВЕДЕНИЯ ПРАКТИКИ

Практика является обязательным разделом основной образовательной программы (ООП) бакалавриата. Она представляет собой вид учебных занятий, непосредственно ориентированных на профессионально-практическую подготовку обучающихся. Организацию проведения практик берет на себя выпускающая кафедра, которая вносит проект приказа для прохождения всех видов практик.

Учебным планом Института технологии Высшей школы технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна для бакалавров направления 18.03.01 «Химическая технология» профиля «Технология и переработка полимеров» очной формы обучения предусмотрены следующие виды практик:

- учебно-ознакомительная практика;
- учебная, технологическая (проектно-технологическая) практика;
- производственная практика (научно-исследовательская работа);
- производственная (преддипломная) практика;
- преддипломная практика (научно-исследовательская работа).

Практика проводится в Высшей школе технологии и энергетики на кафедре физической и коллоидной химии с использованием материально-технической базы кафедры или на базе сторонних организаций. Практика обучающихся предусматривает аналитическую работу обучающихся с имеющейся технической документацией, ознакомление обучающихся с тематикой научных исследований выпускающей кафедры, ее историей и традициями; знакомство со структурой кафедры, с работой, оборудованием кафедральных лабораторий, вузовских и научно-исследовательских организаций, ознакомление с учебным процессом кафедры; выполнение работ, связанных с подготовкой учебной лаборатории кафедры к новому учебному году, знакомство со структурой предприятий различного профиля, изучения основ технологических процессов.

Направление студентов на любой вид практики оформляется приказом по университету. Непосредственными участниками организации проведения любого вида практики являются сам студент, руководитель практики от университета (преподаватель), принимающая организация (руководитель данного подразделения) и специалист, который будет непосредственно руководить практикой (руководитель и специалист могут быть в одном лице). Кандидатуры преподавателей, которым предстоит осуществлять руководство практикой, определяет кафедра по согласованию с директором Института технологии, и затем они утверждаются приказом директора ВШТЭ.

Обучающиеся, заключившие контракт с будущими работодателями или совмещающие обучение с трудовой деятельностью на предприятиях или организациях, вправе проходить в этих организациях практику в случае, если



профессиональная деятельность, осуществляемая ими в указанных предприятиях или организациях, соответствует целям практики. Допускается прохождение отдельными обучающимися практики по месту жительства, месту работы родителей по согласованию с заведующим кафедрой при условии соответствия базы практики требованиям, обеспечивающим выполнение ФГОС в полном объеме.

Практики осуществляются на основе договоров между Университетом и профильными организациями, в соответствии с которыми указанные организации независимо от их организационно-правовых форм предоставляют места для прохождения практики обучающимся в Университете. Договоры заключаются в двух экземплярах и хранятся в профильной организации в отделе практической подготовки студентов.

Для руководства практикой, проводимой в профильной организации, назначаются руководитель (руководители) практики из числа лиц, относящихся к профессорско-преподавательскому составу Университета, организующей проведение практики, и руководитель (руководители) практики из числа работников профильной организации.

Перед началом практики руководитель практики организует и проводит общее собрание студентов. Целью данного собрания является:

- знакомство студентов со своим непосредственным преподавателем – руководителем практики;
- получение студентами направлений на прохождение практики и необходимых материалов (индивидуальное задание, сведения по практике, титульный лист отчета).

По окончании практики обучающийся представляет руководителю отчет и получает письменный отзыв от руководителя. Результаты практики оцениваются по защите обучающимся отчета по выполнению индивидуального задания с учетом отзыва руководителя.

Отчет по практике обучающийся защищает публично перед комиссией по приему защиты практики. Обучающиеся, не выполнившие программу практики по уважительной причине, направляются на практику повторно в свободное от учебы время. Обучающиеся, не выполнившие программу практики без уважительной причины или получившие отрицательную оценку, могут быть отчислены из учебного заведения как имеющие академическую задолженность.

### **3. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ В АНАЛИТИЧЕСКИХ ЛАБОРАТОРИЯХ (ПНД Ф 12.13.1-03)**

#### **3.1. Общие положения**

- 1.1. К работе в лаборатории студенты допускаются только после прохождения вводного инструктажа о соблюдении мер безопасности, инструктажа на рабочем месте по пожарной безопасности.
- 1.2. Прохождение инструктажа обязательно для всех принимаемых на работу независимо от их образования, стажа работы и должности, а также для проходящих практику или производственное обучение.
- 1.3. Проведение всех видов инструктажа регистрируется в журнале (Приложение 3, 4, 5).
- 1.4. Распоряжением по лаборатории в каждом рабочем помещении назначаются ответственные за соблюдение правил техники безопасности, правильное хранение легковоспламеняющихся, взрывоопасных и ядовитых веществ, санитарное состояние помещений, обеспеченность средствами индивидуальной защиты и аптечками первой помощи с необходимым набором медикаментов.
- 1.5. Проведение вводного инструктажа, контроль выполнения правил техники безопасности во всей лаборатории и ведение журнала инструктажа осуществляет назначенное начальником лаборатории должностное лицо, в подчинении которого находятся ответственные рабочих помещений.

#### **3.2. Средства индивидуальной защиты**

- 1.1. При работе в химической лаборатории необходимо надевать халат из хлопчатобумажной ткани.
- 1.2. При выполнении работ, связанных с выделением ядовитых газов и пыли, для защиты органов дыхания следует применять респираторы или противогазы и другие средства защиты.
- 1.3. При работе с едкими и ядовитыми веществами дополнительно применяют фартуки, средства индивидуальной защиты глаз и рук.
- 1.4. Для защиты рук от действия кислот, щелочей, солей, растворителей применяют резиновые перчатки. На перчатках не должно быть порезов, проколов и других повреждений. Надевая перчатки, следует посыпать их изнутри тальком.
- 1.5. Для защиты глаз применяют очки различных типов, щитки, маски.

### 3.3. Правила пожарной безопасности в лаборатории

Все помещения лаборатории должны соответствовать требованиям пожарной безопасности по ГОСТ 12.1.004-91 и иметь средства пожаротушения по ГОСТ 12.4.009-83.

- 1.1. Лаборатория должна быть оснащена пожарными кранами (не менее одного на этаж) с пожарными рукавами. В каждом рабочем помещении должны быть в наличии огнетушители и песок, а в помещениях с огнеопасными и легковоспламеняющимися веществами – дополнительные средства пожаротушения.
- 1.2. В помещении лаборатории на видном месте должен быть вывешен план эвакуации сотрудников в случае возникновения пожара.
- 1.3. Распоряжением по лаборатории из числа сотрудников назначается группа (3–5 человек), которая организует все противопожарные мероприятия, получив инструктаж местной пожарной команды.
- 1.4. Все сотрудники лаборатории должны быть обучены правилам обращения с огне- и взрывоопасными веществами, газовыми приборами, а также должны уметь обращаться с противопогазом, огнетушителем и другими средствами пожаротушения, имеющимися в лаборатории.
- 1.5. В помещениях лаборатории и в непосредственной близости от них (в коридорах, под лестницами) запрещается хранить горючие материалы и устанавливать предметы, загромождающие проходы и доступ к средствам пожаротушения.
- 1.6. Курить в помещениях лаборатории строго запрещается!
- 1.7. Без разрешения начальника лаборатории и лица, ответственного за противопожарные мероприятия, запрещается установка лабораторных и нагревательных приборов, пуск их в эксплуатацию, переделка электропроводки.
- 1.8. Все нагревательные приборы должны быть установлены на термоизолирующих подставках.
- 1.9. Запрещается эксплуатация неисправных лабораторных и нагревательных приборов.
- 1.10. После окончания работы необходимо отключить электроэнергию, газ и воду во всех помещениях.
- 1.11. Каждый сотрудник лаборатории, заметивший пожар, задымление или другие признаки пожара, обязан:
  - немедленно вызвать пожарную часть по телефону;
  - принять меры по ограничению распространения огня и ликвидации пожара;
  - поставить в известность начальника лаборатории, который, в свою очередь, должен известить сотрудников, принять меры к их эвакуации и ликвидации пожара.

### 3.4. Правила электробезопасности в лаборатории

Все помещения лаборатории должны соответствовать требованиям электробезопасности при работе с электроустановками по ГОСТ 12.1.019-79.

- 1.1. Все электрооборудование с напряжением свыше 36 В, а также оборудование и механизмы, которые могут оказаться под напряжением, должны быть надежно заземлены.
- 1.2. Для отключения электросетей на вводах должны быть рубильники или другие доступные устройства. Отключение всей сети, за исключением дежурного освещения, производится общим рубильником.
- 1.3. В целях предотвращения электротравматизма запрещается:
  - работать на неисправных электрических приборах и установках;
  - перегружать электросеть;
  - переносить и оставлять без надзора включенные электроприборы;
  - работать вблизи открытых частей электроустановок, прикасаться к ним;
  - загромождать подходы к электрическим устройствам.
- 1.4. О всех обнаруженных дефектах в изоляции проводов, неисправности рубильников, штепсельных вилок, розеток, а также заземления и ограждений следует немедленно сообщить электрику. В случае перерыва в подаче электроэнергии электроприборы должны быть немедленно выключены.
- 1.5. Запрещается использование в пределах одного рабочего места электроприборов класса "0" и заземленного электрооборудования.
- 1.6. Категорически запрещается прикасаться к корпусу поврежденного прибора или токоведущим частям с нарушенной изоляцией и одновременно к заземленному оборудованию (другой прибор с исправным заземлением, водопроводные трубы, отопительные батареи), либо прикасаться к поврежденному прибору, стоя на влажном полу.
- 1.7. При поражении электрическим током необходимо как можно быстрее освободить пострадавшего от действия электрического тока, отключив электроприбор, которого касается пострадавший. Отключение производится с помощью отключателя или рубильника.
- 1.8. При невозможности быстрого отключения электроприбора необходимо освободить пострадавшего от токоведущих частей деревянным или другим не проводящим ток предметом источник поражения.
- 1.9. Во всех случаях поражения электрическим током необходимо вызвать врача.

## 4. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ УЧЕБНО (ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ (ПРОЕКТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ)) ПРАКТИКИ

### 4.1. Задачи практики

Учебная (технологическая (проектно-технологическая)) практика для очной формы обучения в соответствии с учебным планом проводится на 2 курсе бакалавриата.

*Трудоемкость практики* составляет 3 з. е. (108 час.), вид промежуточной аттестации – зачет с оценкой.

*Цель учебной (технологической (проектно-технологической)) практики* – закрепление теоретических знаний и получение навыков их практического применения в области полимерных материалов.

*Задачи практики:*

- закрепление знаний и навыков, полученных при изучении профильных дисциплин;
- приобретение практических знаний и умений в области производства полимерных материалов.

*Способы проведения практики* – стационарная.

*Форма проведения* – концентрированная.

### 4.2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате прохождения практики

**ОПК-1:** Способен изучать, анализировать, использовать механизмы химических реакций, происходящих в технологических процессах и окружающем мире, основываясь на знаниях о строении вещества, природе химической связи и свойствах различных классов химических элементов, соединений, веществ и материалов.

**Знать:** фундаментальные основы строения химических соединений, химические и физические свойства химических соединений и их взаимосвязь со свойствами веществ и материалов.

**Уметь:** анализировать характеристики исходных химических соединений и их влияние на свойства веществ и материалов, получаемых из них.

**Владеть:** приемами анализа и определения характеристик исходных химических соединений и свойств веществ и материалов, получаемых из них.

**ОПК-2:** Способен использовать математические, физические, физико-химические, химические методы для решения задач профессиональной деятельности.

**Знать:** стандартные и нестандартные методики и методы проведения эксперимента.

**Уметь:** проводить экспериментальные исследования по стандартным и нестандартным методикам и методам.

**Владеть:** методами определения целей и задач при проведении экспериментальных исследований.

**ОПК-3:** Способен осуществлять профессиональную деятельность с учетом законодательства Российской Федерации, в том числе в области экономики и экологии.

**Знать:** экологические проблемы и влияние химических технологий на окружающую среду.

**Уметь:** анализировать влияние химических технологий на окружающую среду и давать оценку их антропогенного воздействия.

**Владеть:** методами выбора рационального способа снижения воздействия химических технологий на окружающую среду.

**ОПК-4:** Способен обеспечивать проведение технологического процесса, использовать технические средства для контроля параметров технологического процесса, свойств сырья и готовой продукции, осуществлять изменение параметров технологического процесса при изменении свойств сырья.

**Знать:** современную приборную базу для проведения исследования и методы контроля качества исходных материалов, полуфабрикатов и готовой продукции.

**Уметь:** выбирать необходимое оборудование, материалы и оптимальные методы контроля качества исходных материалов, полуфабрикатов и готовой продукции.

**Владеть:** навыками работы на необходимом оборудовании и контроля качества исходных материалов, полуфабрикатов и готовой продукции.

**ОПК-5:** Способен осуществлять экспериментальные исследования и испытания по заданной методике, проводить наблюдения и измерения с учетом требований техники безопасности, обрабатывать и интерпретировать экспериментальные данные.

**Знать:** алгоритмы обработки полученных экспериментальных данных, показатели качества химической продукции и их влияние на технологический процесс.

**Уметь:** пользоваться установленными алгоритмами обработки полученных экспериментальных данных и технологических параметров.

**Владеть:** методами обработки и анализа экспериментальных данных.

**ОПК-6:** Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности.

**Знать:** основные функциональные возможности программных инструментов и инфотелекоммуникационных платформ для решения прикладных задач в профессиональной деятельности; методологию обучения и развития навыков работы при обновлении средств информационных технологий в прикладной области.

**Уметь:** выполнять подготовку электронных вариантов проектов, решений и документации в профессиональной деятельности; работать со средствами дистанционных и коллективных информационных технологий на основе

инфотелекоммуникационных систем.

**Владеть:** востребованными программными инструментами и средами для реализации информационных технологий в профессиональной деятельности; навыками организации комплекса информационных технологий для индивидуального и коллективного решения прикладных задач в профессиональной деятельности.

### 4.3. Индивидуальное задание

Содержание практики планируется руководителем по практике студента, согласовывается с руководителем от предприятия (на котором предполагается прохождение практики) и отражается в индивидуальном задании на учебную (технологическую (проектно-технологическую) практику, в котором фиксируются все виды деятельности студента в течение практики. Задание должно быть максимально приближено к вопросам по изучаемым курсам.

Ниже приводится примерная тематика индивидуальных заданий.

1. История создания технологии производства напитков компании «Балтика».
2. Технология очистки воды на производстве компании «Балтика».
3. Технологическое оборудование на производстве компании «Балтика».
4. Развитие логистической системы компании «Балтика».
5. Современное состояние отечественного производства тароупаковочных видов бумаги и картона.
6. Технологическое оборудование и аппараты на предприятиях по производству картона и бумаги для гофрирования на АО «Бумажная Фабрика «Коммунар».
7. Производство крафт бумаги на АО «Бумажная Фабрика «Коммунар».
8. Особенности технологии производства бумаги белых видов на АО «Бумажная Фабрика «Коммунар».
9. Производство фторопластов на предприятии «Пластполимер».
10. Производство «Пластполимер».
11. Переработка полимеров на предприятии.

## 5. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРИАЛОВ

В ходе прохождения данной практики студент получает знания и навыки в технологии переработки синтетических и природных полимеров.

Современные полимерные материалы, в первую очередь композитные материалы являются основой создания самых разнообразных изделий бытового и технического назначения, науки, спорта, туризма, медицины и многих других областей применения.

Пластические массы обычно представляют собой многокомпонентные материалы. Кроме полимеров пластические массы содержат в различных соотношениях стабилизаторы, пластификаторы, наполнители, а также технологические примеси (присутствие последних нежелательно). Стабилизаторы предохраняют полимеры от старения под действием температуры (термостабилизаторы), окислителей (антиоксиданты), ультрафиолетового облучения (светостабилизаторы). Пластификаторы понижают вязкость полимеров, повышают эластичность. Стабилизаторы и пластификаторы обычно диспергированы в полимере до размеров молекул и образуют с ним истинные растворы.

Наполнители могут иметь любое агрегатное состояние: твёрдое, жидкое, газообразное. Твёрдые наполнители могут иметь различную форму: а) мелкодисперсные с формой, близкой к шарообразной; б) анизометричную – нитевидные кристаллы, волокна различной длины; в) слоистую – плёнки, ткани и др. Жидкие наполнители имеют шарообразную или эллипсоидную форму. Форма газообразных наполнителей зависит от степени наполнения и технологии. Газонаполненные полимеры называются пено- и поропластами. Пенопласты имеют закрытые поры, а поропласты – открытые поры. Закрытые поры обеспечивают лучшую теплоизоляцию.

### 5.1. Термопластичные полимеры

Термопласты способны размягчаться при нагревании или растворяться в соответствующих растворителях. В этом состоянии их формуют в изделия. После охлаждения или удаления тем или иным способом растворителя изделия затвердевают. Из них делают изоляцию проводов, кабелей, волокна, плёнки, а также различные детали, в том числе корпуса приборов. Термопласты после формования могут быть сшиты с образованием сетчатой структуры. При этом их свойства улучшаются: они становятся прочнее, более термостойкими, однако их повторная переработка затрудняется. Линейные термопласты можно перерабатывать вторично.

Основные термопластичные полимеры: полиэтилен, полипропилен, поливинилхлорид, полистирол, полиметилметакрилат, политетрафторэтилен, полиэфир, поликарбонаты, полиамиды, полиуретаны, полиимиды и др.



**Полиэтилен (ПЭ).** Полиэтилен – самый простой по химическому строению полимер  $-\text{[CH}_2-\text{CH}_2\text{]}_n-$ . С него начинается класс полимеров, получивший название *полиолефины*. Общая формула мономерного звена полиолефинов  $\text{C}_n\text{H}_{2n}$ . Электроотрицательности атомов С и Н очень близки, поэтому все полиолефины – неполярные диэлектрики. Все полиолефины можно рассматривать как производные полиэтилена, образованные замещением атома водорода углеводородными радикалами с одинарными связями между атомами углерода.

Замещение атомов водорода в этилене на другие атомы или группы атомов позволяет получить огромное количество разнообразных полимеров, объединяемых одним общим признаком – их главная цепь построена из атомов углерода. Все эти полимеры называются карбоцепными.

Полиэтилен – самый многотоннажный полимер, т. е. производимый в огромных количествах. Его синтезируют методом полимеризации из этилена  $\text{CH}_2=\text{CH}_2$

В зависимости от технологии синтеза различают полиэтилен высокого давления (ПЭВД или ПЭНП), полиэтилен низкого давления (ПЭНД или ПЭВП) и полиэтилен среднего давления (ПЭСД). Наибольшее применение получили ПЭВД и ПЭНД. ПЭ высокого давления имеет больше разветвлений, чем ПЭНД. По этой причине его плотность ниже, чем у ПЭНД: 920–930 кг/м<sup>3</sup> против 940 кг/м<sup>3</sup>. Поэтому их ещё иногда называют «полиэтилен низкой плотности ПЭНП» и «полиэтилен высокой плотности ПЭВП».

ПЭВД обладает невысокой кристалличностью и образует полупрозрачные плёнки. Используется как плёночный материал в изоляции проводов, кабелей (при этом его иногда вулканизируют перекисями). Поскольку синтез под высоким давлением проводят без катализаторов, ПЭВД не содержит ионных и других вредных примесей и может применяться для упаковки пищевых продуктов. В наполненном виде используется как конструкционный материал общетехнического назначения. Сохраняет работоспособность в пределах от -60 до +50 °С.

ПЭНД получают с использованием катализатора Циглера  $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_3 + \text{TiCl}_4$ . Этот ПЭ имеет большую степень кристалличности, он более жёсткий. Из-за присутствия остатков катализатора его электрические свойства несколько ниже, чем у ПЭВД. Кроме того, по этой же причине он более опасен для использования в пищевой промышленности и медицине.

ПЭВД и ПЭНД легко различить, сравнивая между собой пакеты для упаковки товаров в магазинах. Полупрозрачные пакеты из мягкой нешуршащей плёнки делают обычно из ПЭВД, а пакеты из более тонкой шуршащей менее прозрачной плёнки – из ПЭНД.

Различия в разветвлённости макромолекул ПЭВД и ПЭНД сказывается на их температурах плавления  $T_{\text{пл}}$  (105–108 и 120–125 °С соответственно), прочности (7–14 и 20–23 МПа) и других свойствах. Кстати, значения  $T_{\text{пл}}$  зависят от величины молекулярной массы полимера, степени кристалличности, метода определения. Для ПЭ, имеющего степень кристалличности 100 %, равновесная  $T_{\text{пл}}$  может быть определена из известного термодинамического

выражения  $T_{пл} = \Delta H / \Delta S$ , где  $\Delta H = 276 - 284$  Дж/г,  $\Delta S = 0,7$  Дж/г·К. Отсюда  $T_{пл} \sim 400$  К = 121 - 132 °С.

ПЭВД и ПЭНД имеют различающиеся диаграммы релаксационных процессов. В зависимости от метода исследования и состояния (порошок, отливка, монокристалл) высокотемпературный  $\alpha$ -переход обнаруживается в диапазоне 40–120 °С,  $\beta$ -переход – в диапазоне -52 – +2 °С,  $\gamma$ -переход – в области -35 – -142 °С. По общему мнению исследователей, исходя из физического смысла стеклования как процесса замораживания движения достаточно длинных сегментов цепи, обуславливающих высокоэластичность, за температуру стеклования принят переход при -20 °С.

Низкотемпературный переход при -120 °С определяется подвижностью очень коротких сегментов цепи. Тем не менее, этот переход весьма важен, так как именно он (а не стеклование) определяет нижнюю границу температуры хрупкости, ограничивающую технологические применения полимера.

Из полиэтилена изготавливают плёнки сельскохозяйственного назначения, для упаковки пищевых продуктов, в том числе термоусадочные плёнки, листы, вспененные теплоизоляционные трубки и листы, в том числе фольгированные, профили облицовочные, поручни, плинтусы, трубы обычные, трубы из сетчатого полиэтилена с температурным диапазоном эксплуатации от -74 до +160 °С и давлений до 90 атм, трёхслойные металлополимерные трубы, монопилы для канатов и фильтровальных сеток, литьевых изделий и пр.

**Полипропилен (ПП).** Если полиэтилен в силу простоты и регулярности строения макромолекул всегда кристаллизуется (если не предпринимается специальное «замораживание» расплава), то полипропилен, в зависимости от строения макромолекул, может обладать или не обладать способностью к кристаллизации. Полипропилен ( $[-CH_2-CH(CH_3)-]_n$ ) по своему строению может быть как стереорегулярным, так и нестереорегулярным – атактическим. Именно стереорегулярные изотактический и синдиотактический полипропилены обладают способностью кристаллизоваться. Степень кристалличности достигает 95 %. Наибольшее значение имеет изотактический полипропилен. Его синтезируют с использованием стереоспецифического катализатора Циглера – Натта ( $Al(C_2H_5)_3 + TiCl_3$ ). Надо учитывать, что в процессе синтеза нельзя получить чисто изотактический полипропилен – обычно образуется так называемый стереоблоксополимер, т. е. блоксополимер, макромолекулы которого содержат изо-, синдио- и атактические блоки. В зависимости от соотношения блоков температура плавления может изменяться в довольно широком диапазоне. Если учесть, что изотактический полипропилен может существовать в трёх модификациях – гексагональной ( $\beta$ ), моноклинной ( $\alpha$ ) и триклинной ( $\gamma$ ), имеющих собственные  $T_{пл}$ , то вопрос о признании единой постоянной  $T_{пл}$  полипропилена становится неопределённым. Ведь кроме плавления полипропилен может испытывать фазовые переходы внутри одного агрегатного состояния. Вместе с тем установлено, что полностью кристаллический изотактический полипропилен имеет  $T_{пл} = 176$  °С.

Релаксационные же переходы присущи как регулярным, так и не регулярным формам полипропилена. Стеклование аморфного полипропилена, по мнению большинства исследователей, происходит вблизи  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . В изотактическом полипропилене также часто наблюдается максимум потерь при температурах порядка  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Вместе с тем, как и в полиэтилене, в полипропилене имеется несколько температурных областей релаксационных переходов. Особенно интересны низкотемпературные переходы в области от  $-110$  до  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  и переходы при крайне низких температурах порядка  $-250\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Эти переходы связывают с релаксацией на уровне надмолекулярных образований и соединяющих их проходных цепей. Именно эти переходы определяют температуру хрупкости материала. Регулируя надмолекулярную структуру полимера можно снизить температуру хрупкости ниже  $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Как видим, полипропилен имеет более широкий температурный диапазон эксплуатации, чем полиэтилен.

Полипропилен является конструкционным материалом с высокими диэлектрическими свойствами. Особенно после наполнения тальком или стекловолокном. Используется для изготовления различных деталей, каркасов, корпусов, панелей, труб и фитингов. ПП плёнка – прекрасный изолятор, используется в конденсаторостроении, в производстве плёночной тентовой ткани, шпагата, волокнистых материалов технического назначения. Полипропиленовые нити и волокна широко применяются в текстильной промышленности. Разработана микрохирургическая нить.

**Полистирол (ПС).** Наиболее распространённый ПС  $[\text{CH}_2\text{CH}(\text{C}_6\text{H}_5)]_n$  получают радикальной полимеризацией стирола. Промышленность выпускает суспензионный, эмульсионный и блочный полистирол. ПС – жёсткий, оптически прозрачный аморфный термопласт с плотностью  $1050\text{--}1080\text{ кг/м}^3$ . ПС имеет  $T_c = +100\text{ }^{\circ}\text{C}$  и при обычных условиях находится в стеклообразном состоянии. Это обуславливает высокую температурную стабильность диэлектрических свойств. ПС – высокочастотный диэлектрик, в виде плёнки используется в конденсаторостроении. Из ПС изготавливают различные детали, в том числе окрашенные светотехнические изделия, детские игрушки, бытовые изделия. Недостатком ПС является повышенная хрупкость. Для снижения хрупкости в него вводят добавки из мелких частиц каучука. Таким путём получают ударопрочный ПС, оптически непрозрачный, который применяют для изготовления различных, в том числе крупногабаритных изделий, например, корпусов телевизоров и других приборов.

Ещё более ударопрочен блоксополимер стирола с бутадиеном и акрилонитрилом (АВС-пластик). Этот полимер широко применяется в машиностроении, в частности, в автомобилестроении.

Используют также сополимеры стирола, например, с акрилатами – САМ. В этом случае получают оптически прозрачный, легко перерабатываемый материал (легче, чем ПС).

Вспененный ПС используется как теплоизоляционный материал и как демпфирующий материал для упаковки различных приборов.

**Полиметилметакрилат (ПММА).** ПММА  $[-\text{CH}_2\text{C}(\text{CH}_3)(\text{COOCH}_3)-]_n$  получают полимеризацией метилового эфира метакриловой кислоты (метилметакрилата) при невысокой температуре ( $\leq 50^\circ\text{C}$ ).

ПММА – оптически прозрачный механически прочный аморфный полимер (органическое стекло). Плотность ПММА  $1180\text{--}1190\text{ кг/м}^3$ ,  $T_c = +105^\circ\text{C}$ . Получают как в пластифицированном, так и непластифицированном виде, чаще всего в виде листов и стержней, применяется как конструкционный, оптический и декоративный материал. Применение многообразно, в частности, для остекления кабин самолётов, для изготовления сердцевины полимерных оптических волокон. Недостаток оргстекла – невысокая твёрдость, легко царапается. ПММА легко окрашивается как в массе, так и поверхностно. Для поверхностной окраски используют спиртовые, иногда с добавлением 5–10 % ацетона, тёплые растворы кислотных или основных красителей.

**Поливинилхлорид (ПВХ).** ПВХ  $[-\text{CH}_2\text{-CH}(\text{Cl})-]_n$  является первым представителем галоидзамещённых полиолефинов, получают его эмульсионной, суспензионной или блочной полимеризацией винилхлорида. Теоретическое содержание Cl около 56 %, поэтому ПВХ не воспламеняется и практически не горит. Степень кристалличности не высока – 10–35 %.  $T_c +82^\circ\text{C}$ , плотность  $1380\text{--}1430\text{ кг/м}^3$ . Это жёсткий, рогообразный материал.

Для повышения эластичности в ПВХ вводят пластификаторы – жидкие низкомолекулярные вещества с низкой летучестью и высокой температурой кипения. Таким путём получают мягкий, хорошо экструдруемый материал (пластикат), который используют для изготовления изоляции проводов, искусственной кожи, труб и трубной арматуры, деталей машин, корпусов приборов, тары, плёнок, линолеума, различных погонажных строительных изделий. Волокна из ПВХ, хлорированного ПВХ и сополимеров на основе винилхлорида применяют в производстве фильтровальных тканей, спецодежды, занавесей. Сопolíмеры винилхлорида с винилацетатом и другими мономерами являются исходными продуктами для производства лаков и клеёв.

ПВХ – полярный диэлектрик. С ростом температуры значительно ( $\cong$  в 50 раз) растут диэлектрические потери.

**Фторопласты.** Фторопласты – группа материалов, получаемых полимеризацией фторсодержащих мономеров этиленового ряда (фторолефины). Одним из важнейших полимеров этого ряда является политетрафторэтилен (ПТФЭ) – фторопласт-4  $[-\text{CF}_2\text{-CF}_2-]_n$ . В результате синтеза получают комкующийся рыхлый порошок белого цвета, который перерабатывают в заготовки и изделия спеканием при температуре  $375^\circ\text{C}$  под давлением 30–35 МПа. Это вызвано тем, что ПТФЭ при нагревании выше  $T_{пл}$  переходит в высокоэластическое состояние, а не в вязкотекучее. Время спекания составляет 20 мин на 1 мм толщины. После спекания проводится закалка быстрым погружением в холодную воду. Такая закалка несколько снижает степень кристалличности.

Степень кристалличности порошка ПТФЭ близка к 100 %, после спекания кристалличность снижается до 85 %.  $T_{пл} = 327^\circ\text{C}$ , температура течения выше температуры разложения, которая составляет  $415^\circ\text{C}$ . Температура стеклования

аморфной части полимера находится около  $-120\text{ }^{\circ}\text{C}$ , однако ПТФЭ не становится хрупким даже при температуре жидкого гелия ( $-269,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). ПТФЭ обладает высокой плотностью –  $2,1 \div 2,3\text{ т/м}^3$ .

ПТФЭ отличается абсолютной водостойкостью и чрезвычайно высокой стойкостью к воздействию кислот, щелочей, окислителей, растворителей и т.п. Он взаимодействует только с расплавленным натрием, элементарным фтором и трёхфтористым хлором, а растворяется в высококипящих фторуглеродах при температуре более низкой, чем  $T_{\text{пл}}$ . Высокая химическая стойкость ПТФЭ объясняется тем, что фтор имеет атомный радиус, соответствующий половине межатомного расстояния С–С связи. Благодаря этому обеспечивается экранирование С–С связи в полимере, а высокая энергия связи С – F определяет химическую инертность. Говорят, что фторполимеры имеют алмазное сердце (углеродную цепочку) и шкуру носорога (оболочку из атомов фтора).

ПТФЭ обладает низким коэффициентом трения, великолепными диэлектрическими свойствами (высокочастотный диэлектрик). Недостатком ПТФЭ является значительная хладотекучесть под нагрузкой.

ПТФЭ перерабатывается главным образом резанием, даже плёнки получают срезанием широким резцом стружки с цилиндрической заготовки. Используется в ответственных деталях и изделиях в виде плёнок, трубок, втулок, подшипников скольжения, для изготовления электрической изоляции и конденсаторов, работающих при высоких и сверхвысоких частотах в широком диапазоне частот.

Другие полимеры и сополимеры из фторсодержащих мономеров, сохраняя в основном высокую химическую стойкость, приобретают способность расплавляться и растворяться. Это позволяет перерабатывать их в изделия методами литья под давлением, экструзией и др.

Фторопласт-3 получают полимеризацией трифторхлорэтилена. Как и ПТФЭ, политрифторхлорэтилен  $[-\text{CFCl} - \text{CF}_2-]_n$  отличается высокой температурой размягчения, негорючестью, химической инертностью, ничтожным поглощением влаги, хорошими электрическими свойствами, стойкостью к низкой температуре. По сравнению с ПТФЭ он более твёрд и обладает большей механической прочностью.  $T_{\text{пл}}$  фторопласта-3 составляет  $210 - 215\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_c = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Рабочий диапазон температур от  $-195\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+170\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Плотность  $2090 - 2160\text{ кг/м}^3$ . Перерабатывается в изделия литьём под давлением, экструзией, прессованием.

Фторопласт-3 – полярный диэлектрик, как электротехнический материал используется при низких частотах, применяется для изготовления плёнок, лент, трубок и различных изделий.

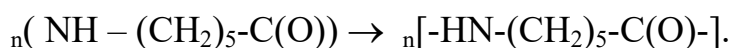
Фторопласт-1 получают полимеризацией винилфторида  $\text{CH}_2=\text{CHF}$ . Поливинилфторид имеет  $T_{\text{пл}} = 196\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_c = 43\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{\text{хр}} = -180\text{ }^{\circ}\text{C}$ , плотность  $1380 - 1400\text{ кг/м}^3$ . Это полярный диэлектрик, перерабатываемый в изделия всеми известными для термопластов методами. Изготавливают плёнки, волокна, защитные покрытия, обладающие высокой химической стойкостью, хорошей адгезией, гибкостью, стойкостью к истиранию, погодостойкостью и широким интервалом рабочих температур.

Фторопласт-2 получают полимеризацией винилиденфторида  $\text{CH}_2=\text{CF}_2$ . Плотность поливинилиденфторида  $1700\text{--}1800 \text{ кг/м}^3$ ,  $T_{\text{пл}} = 176 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $T_c = -120 \text{ }^\circ\text{C}$ . Это хорошо экструзируемый термопласт, используется для изготовления плёнок, волокон, оболочек проводов, упаковки пищевых продуктов. Он растворим в полярных растворителях – диметилсульфоксиде, диметилформамиде, диметилацетамиде, устойчив к действию УФ-лучей, обладает атмосферостойкостью. Фторопласт-2 обладает высокой полярностью ( $\epsilon = 12$ ). В зависимости от условий формования плёнок фторопласт-2 может кристаллизоваться в трёх кристаллических модификациях. В одной из них ( $\beta$ -форма) углеродный скелет макромолекулы имеет форму плоского зигзага. Такая форма придает ориентированному полимеру сегнетоэлектрические свойства. После дополнительной поляризации такие плёнки обладают высокими пьезоэлектрическими и пирозлектрическими свойствами.

**Фторсодержащие карбоцепные сополимеры** довольно многочисленны. Это и сополимеры тетрафторэтилена с винилиденфторидом (Ф-42), с гексафторпропиленом (Ф-4МБ), имеющим рабочий диапазон температур от  $-190$  до  $+220 \text{ }^\circ\text{C}$ , с этиленом (Ф-40), сополимеры винилиденфторида и др. Соплимер винилиденфторида с этиленом (Tefzel) используется в качестве термостойкой изоляции проводов. Многие сополимеры обладают свойствами эластомеров.

**Алифатические полиамиды.** Полиамиды – это гетероцепные полимеры, содержащие в составе цепи амидные группировки  $-\text{C}(\text{O})\text{NH}-$ . Из большого класса алифатических полиамидов широкое применение нашли поликапроамид (полиамид-6, ПА-6, капрон) и полигексаметиленадипинамид (полиамид-66, ПА-66, анид, найлон 6,6). Комбинация из двух чисел (ПА-66) указывает на то, что полиамид получен из диамина и дикарбоновой кислоты. В данном случае ПА-66 получается поликонденсацией гексаметилендиамина  $\text{NH}_2(\text{CH}_2)_6\text{NH}_2$  и адипиновой кислоты  $\text{HOOC}(\text{CH}_2)_4\text{COOH}$ . Цифры указывают на количество атомов углерода в диамине и дикарбоновой кислоте.

ПА-6 получают полимеризацией капролактама – циклического соединения:



Полиамиды – механически прочные кристаллические полимеры, относящиеся к конструкционным термопластам. Используются для изготовления ударостойких деталей и изделий электротехнического назначения (разъёмы), работающих под постоянной механической нагрузкой, волокон различного назначения, плёнок, клеёв, лаков. Полиамиды имеют низкий коэффициент трения, ограниченно поглощают воду.

Чем больше метиленовых групп в составе дикарбоновой кислоты, тем ниже  $T_{\text{пл}}$ , меньше водопоглощение, ниже твёрдость, меньше модуль упругости, выше хемостойкость, лучше электрические свойства.

**Полиэферы.** Различают простые и сложные полиэферы. Из простых полиэфиров наибольшее практическое значение имеют полиформальдегид

(полиоксиметилен) и пентапласт – поли-3,3-бис-(хлорметил)-оксациклобутан. Из сложных полиэфиров – полиэтилентерефталат (лавсан) и поликарбонаты.

**Полиформальдегид (ПФО).** ПФО  $[-\text{CH}_2-\text{O}-]_n$  получают полимеризацией формальдегида  $\text{CH}_2\text{O}$  или его тримера – триоксана. Известны также сополимеры формальдегида.

**Пентапласт**  $[-\text{CH}_2-\text{C}(\text{CH}_2\text{Cl})_2-\text{CH}_2-\text{O}-]_n$  получают реакцией полимеризации 3,3-дихлорметилоксациклобутана – производного пентаэритрита.

Эти полимеры имеют близкие плотности ( $1800 \text{ кг/м}^3$ ) и  $T_{\text{пл}} = 180 \text{ }^\circ\text{C}$ . Механические и электрические свойства этих полимеров имеют различия, вызванные большей полярностью пентапласта. Прочность ПФА почти в 2 раза больше. Они характеризуются высоким сопротивлением усталостным нагрузкам, стойкостью к истиранию и действию низких (до  $-40 \text{ }^\circ\text{C}$ ) температур. Легко перерабатываются литьём под давлением, экструзией, в том числе с раздувом, вакуум- и пневмоформованием, хорошо свариваются в токе горячего воздуха. Это конструкционные материалы, используемые в автомобилестроении, приборостроении, электронике и средствах связи. Из этих полимеров изготавливают втулки, зубчатые колёса, шестерни, рукоятки, корпуса приборов, детали переключателей, краны, масло- и бензопроводы. По химической стойкости пентапласт превосходит поливинилхлорид, но уступает фторопласту-4. Пентапласт благодаря этому используется в виде футеровок или покрытий как коррозионностойкий материал для защиты химического оборудования.

**Полиэтилентерефталат (ПЭТФ)**  $[-(\text{O})\text{C}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}(\text{O})-\text{O}-\text{O}-\text{O}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}(\text{O})-\text{O}-]_n$  получают поликонденсацией дикарбоновой терефталевой кислоты и этиленгликоля. Он может существовать как в аморфном, так и в высококристаллическом состоянии, при этом переходы проявляются исключительно чётко. ПЭТФ имеет плотность  $1400 \text{ кг/м}^3$ ,  $T_{\text{пл}} = 265 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $T_c$  аморфного неориентированного полимера составляет  $84 \text{ }^\circ\text{C}$ , кристаллического неориентированного –  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ , а кристаллического ориентированного –  $125 \text{ }^\circ\text{C}$ .

ПЭТФ (лавсан) перерабатывается экструзией и литьём под давлением и используется для изготовления текстильных, кордных, хирургических нитей, конденсаторных плёнок, а также для изготовления различных литьевых изделий (ПЭТФ в смеси с полиэтиленом), для изготовления тонкостенных сосудов для пищевых продуктов.

**Поликарбонаты (ПКБ)** – это разновидность полиэфиров. Они представляют собой сложные полиэферы угольной кислоты. Общая формула  $[-\text{OR}-\text{O}-\text{C}(\text{O})-]$ . Наибольшее распространение получил ПКБ «дифлон» – продукт поликонденсации дифенилолпропана  $\text{HO}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}(\text{CH}_3)_2-\text{C}_6\text{H}_4-\text{OH}$  и фосгена  $\text{COCl}_2$ .

Плотность дифлона  $1200 \text{ кг/см}^3$ ,  $T_{\text{пл}} = 220\text{--}230 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $T_c = 149 \text{ }^\circ\text{C}$ . Температурный интервал работоспособности от  $-100$  до  $+135 \text{ }^\circ\text{C}$ . Дифлон обладает высокой теплостойкостью, механической прочностью, высокой ударной вязкостью, влаго- и атмосферостойкостью, оптической прозрачностью. Перерабатывают его литьём под давлением при  $230\text{--}280 \text{ }^\circ\text{C}$  и удельном давлении  $120\text{--}180 \text{ МПа}$ , а также экструзией. Применяют дифлон для

изготовления изделий электро- и радиотехнического назначения, приборостроения, оптических приборов (линзы, рефлекторы, сердцевина оптических волокон) и многих других отраслях. Так, плёночные конденсаторы из дифлона по температурной стабильности ёмкости лучше, чем полистирольные, превосходят их по нагревостойкости. Удаётся изготавливать конденсаторы низкого напряжения с удельной ёмкостью до  $2 \text{ Ф/м}^3$ . Поликарбонат в смеси с полибутилентерефталатом используется для изготовления бамперов автомобилей.

**Полиуретаны (ПУ).** Полиуретаны получают методом ступенчатой полимеризации ди- или полиизоцианатов с соединениями, содержащими 2 или более гидроксильных групп. Они содержат группу  $-\text{NH}-(\text{C}=\text{O})-\text{O}-$ .

В зависимости от природы сомономеров ПУ могут быть термопластичными или терморезистивными, могут быть кристаллическими ( $T_{\text{пл}} = 176-180 \text{ }^\circ\text{C}$ ) или аморфными, пластиками или эластомерами. Линейные ПУ на основе низкомолекулярных гликолей являются волокнообразующими. Из ПУ изготавливают клеи, лаки различного назначения, в том числе и для эмалирования проводов. ПУ эластомеры отличаются высокой стойкостью к истиранию, что важно при эксплуатации таких изделий, как шины, конвейерные ленты и т.п. ПУ компаунды используют для бескорпусной герметизации микросхем. Литые изделия из ПУ могут эксплуатироваться в диапазоне температур от  $-60$  до  $+100 \text{ }^\circ\text{C}$ . Основное применение ПУ находят в производстве газонаполненных пластмасс (поролон).

**Полиимиды (ПИ).** Полиимиды являются представителями нового класса полимеров – термостойких. Макромолекулы этих полимеров обычно содержат гетероциклы, то есть циклические структуры, включающие атомы N, O, S. несколько бензольных колец. Имидная группировка придаёт макромолекуле большую жёсткость.

Полиимиды неплавки, нерастворимы в органических соединениях, стойки к кислотам и несколько хуже к щелочам, обладают высокой радиационной стойкостью. Применяют ПИ для корпусной изоляции электродвигателей, для специальных конденсаторов, работающих при температурах от  $-80$  до  $200 \text{ }^\circ\text{C}$ , в производстве многослойных микросхем с пересечениями в качестве изолирующего слоя, для шлейфов межячеечной коммутации в блоках микроэлектронной аппаратуры и др. Выпускается в основном в виде плёнок как в чистом виде, так и дублированными с фторсодержащими термопластами (Ф4МБ) или лавсаном. Такие плёнки можно сваривать при  $\approx 400 \text{ }^\circ\text{C}$ .

**Эфиры целлюлозы (этролы, целлулоид).** Эти полимеры – старейшие пластические массы, относятся к искусственным, т.е. полученным модификацией природного полимера – целлюлозы. Повторяющееся звено целлюлозы  $[-\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_2(\text{OH})_3-]_n$  содержит 3 гидроксильные группы. По гидроксильным группам можно проводить реакцию этерификации, приводящую к образованию сложных эфиров целлюлозы, или реакцию алкилирования с одно- и многоатомными спиртами, приводящую к образованию простых эфиров целлюлозы.



**Кремнийорганические полимеры**, иначе – полиорганосилоксаны (силиконы), состоят из макромолекул, основная цепь которых состоит из чередующихся атомов Si и O с различными обрамляющими группами или органическими радикалами у атома кремния. Синтез кремнийорганических полимеров включает ряд процессов – конденсацию, поликонденсацию, каталитическую полимеризацию. В зависимости от условий реакции и функциональности мономеров образуются линейные, циклолинейные, разветвлённые, лестничные или сетчатые полимеры.

Области применения полиорганосилоксанов необычайно обширны. Они используются в качестве гидрофобизирующих жидкостей, демпфирующих жидкостей, защитно-декоративных составов, отбеливающих и полирующих составов, антикоррозионных покрытий, пеногасителей, жидкостей для вакуумных систем, теплоносителей и охлаждающих жидкостей, отвердителей некоторых видов полимеров, антиадгезионных составов, клеевых композиций, эластомеров и резин, герметиков и компаундов, пластических масс, электроизоляционных материалов, в медицине, фармацевтике и косметике.

Такой широкий спектр областей применения силиконов объясняется их свойствами. Силиконы благодаря высокой энергии связи Si – O (432 кДж/моль) обладают высокой тепло- и термостойкостью (порядка 500 °С). Силиконы разветвлённой, лестничной и спироциклической структуры, как правило, хорошо растворимы в органических растворителях, поэтому они используются для изготовления лаков, в частности, электротехнического назначения. Продуктами разложения лаковых покрытий является полимер  $(\text{SiO}_2)_n$ , полностью сохраняющий электроизоляционные свойства.

Важной областью применения полиорганосилоксанов являются композиционные материалы, особенно слоистые пластики. Для этих целей используют терморезистивные виды силиконов.

## 5.2. Терморезистивные полимеры

Терморезистивные полимеры (реактопласты) – это пластические массы, отверждающиеся при нагревании. При отверждении происходит образование поперечных связей, сшивка. В результате образуются сетчатые полимеры – твёрдые, механически прочные (модуль упругости до 4,5 ГПа), неплавкие, нерастворимые, термостойкие (до 250–300 °С), в которых атомы связаны прочными ковалентными связями.

Электрическая прочность после сшивки также резко повышается. Если при электрическом пробое термопластов происходит локальный нагрев до температуры выше  $T_c$ , после чего происходит пробой, то в реактопластах такое повышение температуры не приводит к таким последствиям, так как размягчения и плавления не происходит. В результате электрические свойства сохраняются до более высоких температур.

Исходными веществами для реактопластов служат олигомеры, находящиеся при нормальной температуре в жидком состоянии или размягчающиеся при невысоких температурах. В жидком состоянии олигомеры легко пропитывают наполнители – порошки, волокна, ткани, поэтому наполнение происходит легко, без чрезмерных энергетических затрат. Олигомеры содержат (обычно на концах) функциональные группы – эфирные, аминные, эпоксидные, гидроксильные, карбоксильные.

Отверждение может происходить самопроизвольно при повышении температуры, либо с помощью полифункциональных соединений – отвердителей. Отверждение иногда проводят с использованием инициаторов полимеризации – веществ, распадающихся на радикалы в условиях отверждения, например, перекисей. К термореактивным полимерам относятся фенолоформальдегидные, карбамидные, эпоксидные, алкидные (ненасыщенные полиэфиры), некоторые виды кремнийорганических полимеров. Они обладают более высокой нагревостойкостью, чем большинство термопластов – до 150–200 °С, большой диэлектрической проницаемостью  $\epsilon = 3-7$ . Они используются как герметики радиоэлектронной аппаратуры, как связующее стеклопластиков, в том числе фольгированных стеклопластиков в производстве многослойных печатных плат, как конструкционный материал для изготовления, например, корпусов приборов, ручек и кнопок управления, разъёмов, цоколей электровакуумных ламп и т.п.

**Фенопласты.** Фенопласты изготавливают на основе фенолоформальдегидных смол (ФФС). Исходными мономерами для получения ФФС являются фенол  $C_6H_5OH$  и формальдегид  $H_2C=O$ . Кроме фенола могут применяться самостоятельно или совместно с фенолом производные фенола – крезолы  $H_3C-C_6H_4-OH$ . При поликонденсации фенола и его гомологов с альдегидами могут образовываться как термопластичные, так и термореактивные полимеры. Термопластичные называют новолачными, а термореактивные – резольными смолами. Резольные ФФС отверждаются при нагревании с образованием трёхмерного полимера. Отверждение же новолачных смол можно осуществить при помощи, например, гексаметилентетрамина (уротропина).

Композиции на основе ФФС получают наполнением их древесной, кварцевой, слюдяной мукой, микроасбестом, каолином, графитом, стеклянными и металлическими микросферами, металлическими порошками, волокнами различной природы. Содержание наполнителя обычно высокое – 35–55 масс.%. Готовые композиции для прессования называются пресспорошками. Они содержат наполнители, смазки, красители, пластификаторы, отвердители. На основе ФФС изготавливают также волокнистые фенопласты, слоистые пластики. Изделия из фенопластов обычно чёрного или коричневого цвета.

В зависимости от компонентного состава плотность фенопластов колеблется от 1450 до 2000 кг/м<sup>3</sup>, температурная область эксплуатации – от -50 до +200 ÷ 250 °С, электрические свойства – от невысоких до повышенных и высоких.

**Аминопласты (карбамидные пластики).** Аминопласты изготавливают на основе меламина-формальдегидных, анилина-формальдегидных или мочевино-формальдегидных смол. Аминосодержащими мономерами выступают мочевина (карбамин)  $\text{H}_2\text{N}-\text{C}(\text{O})-\text{NH}_2$ , анилин  $\text{C}_6\text{H}_5-\text{NH}_2$ , меламин  $\text{C}_3\text{N}_3-(\text{NH}_2)_3$ . Аминосмолы используют для изготовления лаков и красок. Аминопласты содержат наполнители, отвердители, пластификаторы, красители и другие добавки. Изделия из аминопластов могут быть белыми или окрашенными в другие цвета. Перерабатываются прессованием и литьём под давлением. Аминопласты широко используются для изготовления самых разнообразных изделий бытового, декоративного и технического назначения, в том числе электротехнического назначения (высокая дугостойкость), слоистых пластиков из пропитанной бумаги (гетинаксы), стружки (древесно-стружечные плиты ДСП), шпона (фанера), пенопластов (мипора).

**Эпоксидные смолы.** Эпоксидные смолы содержат в своей цепи эпоксидные группы. Они способны превращаться в сетчатые полимеры. Эпоксидные смолы представляют собой растворимые и плавкие низкомолекулярные (олигомерные) соединения. Молекулярная масса олигомеров 1000–4000. В качестве отвердителей применяют аминосодержащие соединения (быстрое отверждение) и кислородсодержащие соединения, например, различные ангидриды (медленное отверждение). С целью ускорения реакции сшивания используют катализаторы. Отвердители могут быть холодного (в основном амины) и горячего отверждения. Отверждение идёт без выделения побочных продуктов.

Эпоксидные смолы отличает высокая адгезия ко всем материалам. После отверждения эпоксидные смолы обладают высокой механической прочностью, химостойкостью, хорошими диэлектрическими свойствами. Наполнение повышает теплостойкость, уменьшает усадку после отверждения и объёмное термическое расширение.

Самые распространённые эпоксидные смолы – эпоксидиановые, являющиеся продуктами конденсации эпихлоргидрина  $\text{CH}_2-\text{O}-\text{CH}-\text{CH}_2\text{C}$  и дифенилолпропана  $\text{HO}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}(\text{CH}_3)_2-\text{C}_6\text{H}_4-\text{OH}$ .

Эпоксидные смолы используются как конструкционный, электроизоляционный материал, как связующее при изготовлении стеклопластиков, в том числе фольгированных, прессовочных композиций, для изготовления различной технологической оснастки, в качестве клеев, герметиков, коррозионно- и водостойких покрытий, обладающих хорошей атмосферо- и светостойкостью. Разработаны шумо- и вибропоглощающие мастики. Стеклопластики являются нагревостойкими радиопрозрачными диэлектриками и используются в устройствах СВЧ – антенные обтекатели и пр. Эпоксидные смолы используются также для изготовления порошковых красок. Окраска ими производится в электростатическом поле без использования растворителей, однако отверждение осуществляется при высокой температуре.

**Ненасыщенные полиэфирные смолы (ПН).** Ненасыщенные полиэфирные смолы представляют собой растворы ненасыщенных полиэфиров с  $M_n=700-3000$  в мономерах (стироле) или олигомерах, способных к

сополимеризации с этими полиэфирами. Ненасыщенные полиэфиры являются продуктами поликонденсации двухосновных кислот (малеиновой, фумаровой) с двухосновными спиртами – алифатическими (или арилалифатическими) гликолями. Например,  $\text{HO(O)C-CH=CHC(O)OH} + \text{HO-(CH}_2\text{)}_2\text{-OH} \rightarrow \text{HO(O)C-CH=CHC(O)-O-(CH}_2\text{)}_2\text{-OH}$

Сополимеризация ПН с мономером (или олигомером) инициируется органическими перекисями, например, перекисью бензоила. В качестве ускорителя применяют третичные ароматические амины (диметиланилин), соли жирных и нафтеновых кислот и др. При сополимеризации НП с мономером образуется продукт пространственного строения.

ПН применяются главным образом в качестве связующего для изготовления различных композитов – армированных пластиков, (стеклопластиков), компаундов, шпатлёвок, клеёв, лаков, эмалей. Из полиэфирных стеклопластиков изготавливают корпуса судов, катеров, шлюпок, яхт, корпуса машин, кожухи, бачки, контейнеры. ПН используются в качестве электроизоляционных пропиточных составов различных классов нагревостойкости.

**Эластомеры (каучуки и резины).** Эластомерами называют полимеры, находящиеся при нормальных условиях в высокоэластическом состоянии. Молекулярная структура эластомеров может быть линейной, разветвлённой и редкосетчатой (макросетчатой). Молекулярные цепи линейных и разветвлённых эластомеров (каучуков) имеют высокую гибкость и относительно слабое межмолекулярное взаимодействие, что приводит к наличию широкого температурного интервала высокой эластичности.

Для придания каучукам соответствующих эксплуатационных свойств применяют различные методы поперечного сшивания (вулканизации). В результате сшивания образуются резины – нерастворимые макросетчатые эластомерные системы, в которых размеры отрезков цепей сетки соизмеримы с размерами сегмента. Сегменты эластомеров включают 5–10 звеньев цепи. Это обеспечивает способность к большим обратимым деформациям при малых модулях упругости (0,001–1 МПа). Вулканизацию каучуков проводят на последней стадии переработки – в процессе формования изделия. Если сетка будет очень густой, то образуется не резина (эластомер), а жёсткий рогоподобный материал – эбонит.

Различают ненасыщенные и насыщенные каучуки. Макромолекулы ненасыщенных каучуков содержат кратные связи и поэтому их вулканизация осуществляется схожими методами. Вулканизация насыщенных каучуков имеет индивидуальные особенности. Невулканизованные каучуки используются для изготовления клеёв, изоляционной ленты и медицинского пластыря.

Смешением каучука с ингредиентами – вулканизирующими веществами, ускорителями и активаторами вулканизации, противостарителями, пластификаторами (мягчителями), наполнителями, специальными добавками и др. получают *резиновые смеси*. Ингредиенты влияют на поведение смесей в процессе их переработки, на свойства вулканизатов.

**Резины на основе ненасыщенных каучуков.** Натуральный каучук (НК) представляет собой *цис*-изомер полиизопрена  $[-\text{CH}_2-\text{C}(\text{CH}_3)=\text{CH}-\text{CH}_2-]_n$ .

Длительное хранение при температурах ниже  $10^\circ\text{C}$  приводит к его кристаллизации. НК технологичен, легко пластицируется, каландруется, шприцуются, совмещается со всеми неполярными синтетическими каучуками, имеет высокую клейкость. Плотность НК =  $910\text{--}930\text{ кг/м}^3$ ,  $T_c = -70^\circ\text{C}$ . Вулканизацию НК обычно проводят серой в сочетании с ускорителями. Резины из наполненных НК обладают хорошими механическими свойствами ( $\sigma_p = 30\text{--}33\text{ МПа}$ ,  $\varepsilon_p = 600\text{--}700\%$ ), высоким сопротивлением раздиру, хорошей эластичностью и морозостойкостью ( $-50^\circ\text{C}$ ). К недостаткам относятся их неудовлетворительная стойкость к растворителям и низкая термостойкость ( $65^\circ\text{C}$ ).

НК является каучуком общего назначения. Он применяется для изготовления шин, разнообразных резино-технических изделий, предметов санитарии и гигиены.

Ограниченные ресурсы НК не могли удовлетворить растущие потребности промышленности, поэтому вскоре были созданы синтетические каучуки (СК). Синтез СК осуществляют главным образом методами радикальной полимеризации, но существуют промышленные производства стереорегулярных СК с использованием методов ионной полимеризации.

**Полибутадиеновый каучук (СКБ).** Структура СКБ аморфна,  $T_c = -60^\circ\text{C}$ , прочность ненаполненных вулканизатов низкая –  $1,2\text{--}1,8\text{ МПа}$ .

Линейные бутадиеновые каучуки получили обозначения СКД и СКЛД. Плотность СКД  $910\text{--}920\text{ кг/м}^3$ ,  $T_c = -105\text{--}-110^\circ\text{C}$ . Вулканизаты имеют  $\sigma_p = 18\text{--}22\text{ МПа}$ ,  $\varepsilon_p = 450\text{--}500\%$ , низкое теплообразование при многократных деформациях, высокое сопротивление образованию трещин. По сопротивлению тепловому старению и износостойкости вулканизаты на основе СКД значительно превосходят вулканизаты на основе НК. По прочности, температуростойкости и сопротивлению разрастанию трещин вулканизаты СКД уступают вулканизатам из НК. Газопроницаемость СКД в 3 раза выше, чем НК, поэтому при вулканизации в изделиях не образуется пор. Полибутадиены являются каучуками общего назначения, применяются для протекторов шин, причём лучшие результаты достигаются в комбинации с НК и СКС, для изготовления РТИ (транспортёрные ленты, сальники-уплотнители, приводные ремни, морозостойкие шланговые рукава), в кабельной и обувной промышленности.

**Полиизопреновые каучуки (СКИ)** со структурой *цис*-1,4 получили обозначение СКИ. В 1950 г. в СССР впервые в мире А. А. Коротков получил изопреновый СК, по структуре и свойствам почти аналогичный натуральному каучуку. Отличается СКИ от НК несколькими лучшими диэлектрическими свойствами. В отличие от СКИ в НК присутствуют белковые вещества, органические кислоты и смолы, положительно влияющие на его свойства и поведение при переработке. СКИ имеют меньшую молекулярную массу и более широкое молекулярно-массовое распределение (ММР), могут содержать остатки катализатора, понижающие его стабильность. При растяжении СКИ,

также как и НК, кристаллизуется, но при больших деформациях (СКИ – 400 %, НК – 250 %). Вулканизаты СКИ практически не отличаются от вулканизатов НК. СКИ – каучуки массового назначения, основные области применения – шинная промышленность и РТИ.

Сополимеризацией бутадиена с виниловыми производными – стиролом, акрилонитрилом и др. получают каучуки с ценными специфическими свойствами. Благодаря присутствию в макромолекуле сомономеров, не содержащих диеновой группировки, уменьшается количество кратных связей и, соответственно, уменьшается химическая активность по сравнению с НК. Такие сополимеры обладают меньшей разветвлённостью цепей, а соответствующий подбор сомономера позволяет в желаемом направлении изменять характер межмолекулярного взаимодействия.

**Бутадиен-стирольные каучуки (СКС, СКМС)** – представляют собой продукты сополимеризации бутадиена со стиролом или метилстиролом. В настоящее время это наиболее распространённый вид эластомеров. В названии типа каучука зашифрован его состав. Индекс *С* или *МС* указывает на использование стирола или  $\alpha$ -метилстирола, а цифра обозначает содержание стирола в составе сополимера. В каучуках общего назначения стирола обычно около 30 %, в каучуках специального назначения стирола больше (СКС-50) или меньше (СКС-10) 30 %. С увеличением содержания стирола возрастают жёсткость каучука, его температура стеклования, уменьшается эластичность вулканизатов на его основе. Плотность СКС зависит от содержания стирола и изменяется в диапазоне от 905 кг/м<sup>3</sup> для СКС-10 до 1030 кг/м<sup>3</sup> для СКС-85. Прочность вулканизатов ненаполненных смесей не превышает 2–3 МПа, поэтому во все смеси на основе СКС вводят усилители, главным образом сажу. На основе каучуков группы СКС изготавливают маслonaполненные каучуки. Введение масла (пластификатора, содержащего ароматические соединения) осуществляют на стадии синтеза.

Бутадиен-стирольные каучуки используют в традиционных областях – шинная промышленность, РТИ, уплотнительная техника. Неполярность СКС определяет эксплуатационные среды – полярные органические жидкости, неорганика.

**Бутадиен-нитрильные каучуки (СКН)** – являются продуктами совместной полимеризации бутадиена и нитрила акриловой кислоты (акрилонитрила). Основные марки – СКН-18, СКН-26, СКН-40. Так же как и в каучуках группы СКС цифры указывают на процентное содержание нитрила акриловой кислоты. Соответственно содержанию акрилонитрила возрастают плотность каучуков (от 943 кг/м<sup>3</sup> для СКН-18 до 986 кг/м<sup>3</sup> для СКН-40), прочность, полярность, температура стеклования (от -55 °С до -32 °С), диэлектрическая проницаемость  $\epsilon$ , уменьшаются набухание вулканизатов в неполярных органических жидкостях, удельное объёмное сопротивление. Прочность наполненных вулканизатов 2,8–3,2 МПа, удлинение 550–600 %. Они отличаются малыми гистерезисными потерями, высокой теплостойкостью в горячем воздухе и паровой среде. Эбониты из СКН имеют большую температурную устойчивость, чем из НК и СКС.

СКН являются каучуками специального назначения и применяются для изготовления масло- и бензостойких РТИ – рукавов, уплотнителей, прокладок, антикоррозионных покрытий, токопроводящих резин и др. СКН хорошо совмещаются с поливинилхлоридом, играя роль пластификатора.

**Карбоксилатные каучуки** представляют собой сополимеры бутадиена и стирола, бутадиена и нитрила акриловой кислоты с небольшим количеством (2–3 %) акриловой или метакриловой кислоты, например, тройной сополимер бутадиена, стирола и метакриловой кислоты. Они способны вулканизоваться не только серой, но и оксидами или гидроксидами двухвалентных металлов. Вулканизаты обладают высокой механической и адгезионной прочностью к различным материалам, стойкостью к разрастанию порезов, износу и термоокислительной деструкции. Карбоксилатный каучук усиливает прочность связи корда с резиной, что увеличивает срок службы шин.

**Бутилкаучук (БК)** получают совместной полимеризацией изобутилена  $(\text{CH}_3)_2\text{C}=\text{CH}_2$  и изопрена. Содержание изопрена в сополимере определяется заданной ненасыщенностью (непредельностью) полимера и составляет от 0,6 до 2,5 мол. %. Под непредельностью понимают содержание изопрена (в мол. %), приходящееся на 100 звеньев сополимера. Чрезвычайно малое содержание кратных связей в цепи определяет стойкость к кислороду и другим окислителям, даже к озонированному воздуху. БК при растяжениях выше 500 % кристаллизуется, плотность 920 кг/м<sup>3</sup>. БК по сравнению с НК имеет меньшую газопроницаемость, он совместим только с хлоропреновыми каучуками, имеет хорошие диэлектрические свойства ( $\rho_v = 10^{18}$ ,  $\text{tg}\delta \sim 0,0055$ ,  $\epsilon = 2,3$ ). Вулканизацию БК осуществляют не чистой серой, а серосодержащими органическими соединениями (полисульфидами) в сочетании с ускорителями. Низкая непредельность БК определяет высокую эластичность вулканизатов и приемлемую прочность (1,7–2 МПа, удлинение ~ 600–750 %). Используются БК для изготовления ездовых и варочных камер, теплостойких РТИ, озоностойких кабельных резин, изделий пищевого и медицинского назначения.

**Хлоропреновые каучуки (наирит)** – представляют собой полимеры хлоропрена  $\text{CH}_2=\text{CCl}-\text{CH}=\text{CH}_2$  (2-хлорбутадиен-1,3) Вследствие регулярного строения цепей полихлоропрен относительно легко кристаллизуется при хранении и при растяжении. Плотность наирита 1200–1240 кг/м<sup>3</sup>, диэлектрическая проницаемость  $\epsilon = 6,4-6,7$ , удельное объёмное сопротивление  $\cong 4,4 \cdot 10^{10}$  Ом·см, температура плавления  $T_{\text{пл}} = 40-65$  °С, температура хрупкости от -38 до -50 °С. Газопроницаемость полихлоропрена в 2–3 раза ниже, чем у НК. Вулканизаты хлоропренового каучука могут быть получены без использования серы, имеют хорошие эластические свойства, теплообразование в них при многократных деформациях меньше, чем у вулканизатов из других видов СК, исключая *цис*-1,4-полиизопрены и *цис*-1,4-полибутадиены. Вследствие частичной кристаллизации при растяжении хлоропреновые вулканизаты без наполнения имеют прочностные характеристики (20–25 МПа), близкие к наполненным вулканизатам. Наирит используется для изготовления РТИ специального и бытового назначения (масло- и бензостойкие изделия, антикоррозионные и гидроизоляционные

покрытия), наиритовые латексы используют в производстве латексных красок, прорезиненных тканей, резиновых и прорезиненных перчаток, прокладок и диафрагм насосов и т.д.

**Резины на основе насыщенных каучуков. Этилен-пропиленовые каучуки (СКЭП)** являются сополимерами этилена и пропилена или этилена, пропилена и небольших количеств третьего компонента (СКЭПТ), содержащего две изолированные двойные связи, как правило, циклического строения. Оптимальными техническими свойствами обладают каучуки, содержащие 45–50 % пропиленовых звеньев. Считается, что СКЭП является стереоблоксополимером, в котором молекулярные цепи состоят из чередующихся коротких отрезков по 8–12 мономерных звеньев этилена и пропилена. Разветвлений мало, поэтому СКЭП отличается высокой эластичностью, низкой плотностью (850–870 кг/см<sup>3</sup>) и температурой стеклования от -58 до -65 °С. Отсутствие двойных связей обуславливает химическую и термоокислительную стойкость СКЭП, но и сложности с вулканизацией, которую проводят перекисными соединениями. Саженаполненные вулканизаты СКЭП имеют прочность 20–26 МПа при удлинении 400–650 %. Тройные сополимеры (СКЭПТ) вулканизируются обычными серными системами. Находят применение смеси этилен-пропиленовых каучуков с полиэтиленом или полипропиленом. Вулканизаты на основе таких смесей обладают повышенной прочностью при растяжении и улучшенными диэлектрическими свойствами. Применяют СКЭП для изготовления транспортёрных лент, рукавов, прокладок, химической аппаратуры и т.д. Высокие электрические характеристики ( $\rho_v = 2,6 \cdot 10^{13}$  Ом·м;  $\text{tg}\delta=0,002$ ;  $\epsilon=2,1$ ), озоностойкость, короностойкость, морозостойкость, повышенное сопротивление тепловому старению позволяет применять вулканизаты СКЭП для изготовления экскаваторных кабелей на напряжение 35 кВ и выше.

**Фторкаучуки (СКФ)** – это большая группа эластомеров, содержащих в молекулах атомы фтора. Различают карбоцепные и гетероцепные каучуки. Из карбоцепных фторкаучуков наибольшее значение имеют сополимеры винилиденфторида (ВФ) и тетрафторэтилена (ТФЭ) с трифторхлорэтиленом (ТФХЭ) и гексафторпропиленом (ГФП). Сополимеры ВФ и ТФХЭ называются СКФ-32, содержание ВФ в них достигает 50–70 % и связанного фтора 54–56 %. Сополимеры ВФ и ГФП называются СКФ-26, они содержат 60–80 % ВФ и около 65 % связанного фтора. Соотношение мономерных звеньев ВФ: ГФП в макромолекулах близко к 7:3. Эти полимеры получают эмульсионной сополимеризацией фторолефинов.

СКФ имеют широкий интервал работоспособности – от -20 до +200 °С для СКФ-32 и от -20 до +250 °С для СКФ-26. Типичный комплекс свойств фторэластомеров – высокие теплостойкость и стойкость к агрессивным средам в широком интервале температур, хорошие физико-механические свойства, включая сопротивление истиранию, невоспламеняемость, удовлетворительные диэлектрические свойства. Вулканизация СКФ осуществляется



специфическими методами, основанными на особенностях химических реакций во фторкаучуках, связанных с сильной полярностью связи С – F.

Основные области потребления фторкаучуков – автомобильная, авиационная промышленность, судостроение, космос, электротехническая промышленность. Из СКФ изготавливают разнообразные детали, работающие в контакте с топливом, нефтью и различными химически агрессивными средами при высоких температурах. Это уплотнители, диафрагмы насосов, клапаны, сальники, манжеты, прокладки, мембраны, внутренний слой топливных и гидравлических рукавов, ткань для защитной одежды, наружная обкладка конвейерных лент и роторных ремней для транспортирования горячих продуктов и агрессивных веществ в химических производствах, гуммированные валы в полиграфическом и сталепрокатном производствах и др.

**Силоксановые каучуки (СКТ)** представляют собой высокомолекулярные кремнийорганические соединения, которые получают поликонденсацией силандиолов – кремнийорганических спиртов. Полимерная цепь состоит из чередующихся атомов Si и O:  $-\text{Si}(\text{R})_2-\text{O}-\text{Si}(\text{R})_2-\text{O}-$ , где R может быть метил  $-\text{CH}_3$ , этил  $-\text{CH}_2\text{CH}_3$ , винил  $-\text{CH}=\text{CH}_2$ , фенил  $-\text{C}_6\text{H}_4$  и др. Межатомное расстояние  $-\text{Si}-\text{O}-$  больше, чем  $-\text{C}-\text{C}-$ , поэтому силоксановые каучуки более эластичны, чем карбоцепные. Силоксановые каучуки имеют большую молекулярную массу –  $10^5-10^6$ , линейное строение, способны кристаллизоваться, обладают наибольшей из всех каучуков теплостойкостью (до  $300\text{ }^\circ\text{C}$ ).  $T_c = -65 \div -74\text{ }^\circ\text{C}$ . Если от 1 до 5 % метильных групп в диметилсилоксановых полимерах заменить на фенильные (СКТМФ), то нарушается регулярность структуры и снижается  $T_c$  до  $-81\text{ }^\circ\text{C}$ . Известны метилвинилсилоксановые (СКТВ), нитрилсилоксановые (СКТН), фторсилоксановые (СКТФ) каучуки. Вулканизацию осуществляют перекисными соединениями. Силиконовые резины применяют там, где жёсткие условия эксплуатации – низкие и высокие температуры, знакопеременные нагрузки (не изменяются после 1 млн циклов), озон и др. агрессивные среды. Из-за чрезвычайно малой адгезии к поверхности СКТ не прилипают к другим полимерам – это свойство используется в машинах по переработке полимеров. Специфические свойства СКТ в сочетании с хорошими диэлектрическими свойствами определяют использование этих резин в электротехнике (кабельная изоляция, установочные детали). Широкое применение СКТ получили в медицине – это различные шланги, катетеры, протезы сосудов и др. На основе СКТ, в частности, эпоксикремнийорганических олигомеров, изготавливают клеи для криогенной техники, вакуумплотные и герметичные клеи, герметики и компаунды.

**Герметики** – это композиции на основе полимеров и олигомеров, предназначенные для создания непроницаемости различных устройств. Герметики наносят на соединительные швы, стыки строительных блоков, болтовые и клепаные соединения; герметизируют стыки оконных рам со стеклом, стыки в водопроводных и канализационных магистралях. Этими материалами герметизируют кабины самолетов и автомобилей. Применение герметиков широкое и разноплановое.

Герметизирующие композиции (герметики) многообразны по составу и состав их зависит от конкретных условий применения. Нет герметиков, пригодных на все случаи жизни. К лимитирующим факторам относятся: температура (морозостойкие и теплостойкие составы), состав среды (водостойкие, бензостойкие, атмосферостойкие и т.д.), адгезия к материалу конструкции, эластичность, механическая прочность, склонность к старению и многие другие.

Выбор схемы герметизации, технологии нанесения герметика определяются типом конструкции и условиями ее эксплуатации.

Практическое применение находят два вида герметиков. **Герметики неотверждаемые** – это эластичные нетвердеющие и невысыхающие пастообразные композиции. Их консистенция, механические (реологические) свойства одинаковы до и после нанесения на герметизируемый объект. Иногда их называют однокомпонентными. На самом деле это не так. Они состоят из многих компонентов, но заранее приготовленные, они поступают для использования в одной таре, в одной емкости. Они не требуют дополнительного подмешивания каких-то ингредиентов. Напротив, **вулканизирующиеся герметики** приготавливаются перед использованием смешением двух паст, одна из которых содержит полимерную смолу – олигомер, другая – отвердитель этой смолы. То есть, эти герметики поступают на производство в двух упаковках. После смешения содержимого упаковок в заданных весовых соотношениях необходимо эту смесь использовать по назначению не теряя времени, т.к. эта смесь отверждаемая, вулканизирующаяся за счет химического взаимодействия основных компонентов: полимерной смолы и отвердителя. Герметизировать такими материалами, например, разъемные соединения, не рекомендуется, т.к. в случае необходимости разобрать конструкцию будет трудно, если вообще возможно.

**Неотверждаемые герметики (НГ)** прямым образом предназначены для герметизации разъемных соединений, например, болтовых, т.к. легко снимаются с поверхности. Однако в последние годы их также широко стали применять в строительстве, где они полностью вытеснили используемые ранее замазки на основе олифы; используются они для заделки стыков железобетонных блоков, герметизации стеклопакетов и т.д.

НГ представляют собой композиционные материалы, в которых в качестве матрицы используют доступные и дешевые полимеры: бутилкаучук, полиизобутилены, сополимер полиэтилен-полипропилен и др. в смеси с пластификаторами. Причем полимера в НГ немного (обычно 5–15 %). Около 25 % пластификатора (различные масла, битумы и др.). До 2 % составляют специальные добавки (адгезивы), регулирующие адгезию к различным материалам, липкость и др. свойства. Основным же компонентом НГ по количеству является порошкообразный наполнитель. Наполнитель в НГ играет важную роль, т.к. влияет на такие показатели материала, как вязкость, прочность, эластичность, термостойкость, цвет. Чаще всего в качестве наполнителей используют мел, тальк, сажу, двуокись кремния, окись магния. К числу достоинств НГ можно отнести то, что они дешевы, делаются из

доступного сырья и во многих случаях удовлетворяют заданным требованиям. Но их недостатки сильно ограничивают их использование. Главные из них: низкая термостойкость (до 70 °С), высокая ползучесть, низкая механическая прочность.

**Тепло- и термостойкие полимеры.** Развитие техники, особенно военной и космической, требовало создания более тепло- и термостойких материалов. Это было достигнуто созданием карбо- и гетероциклических полимеров.

Жёсткоцепные карбоциклические и гетероциклические полимеры обладают повышенной тепло-, термо-, и огнестойкостью. Из карбоциклических следует упомянуть полифенилены, полипараксилилены, полифениленоксиды, полисульфоны, полифениленсульфиды, ароматические полиэферы и полиамиды, которые используют для изготовления пластиков, сохраняющих работоспособность при температурах выше 200 °С.

Гетероциклические линейные (и особенно сетчатые) полимеры имеют более высокую рабочую температуру. Это уже известные вам полиимиды (320 °С), это полибензимидазолы, полибензоксазолы, полихиноксалины (380 °С) и др.

Отдельные представители гетероциклических полимеров могут длительно работать в воздушной среде при 530 °С.

Высокая теплостойкость карбо- и гетероциклических полимеров обусловлена жёсткостью их цепей и сильным межмолекулярным взаимодействием, а стойкость к термической и термоокислительной деструкции – прочностью химических связей.

Серьёзные сложности возникают при переработке этих полимеров в изделия. Карбоциклические полимеры перерабатывают теми же способами, что и термопласты. В этих полимерах группы О, S, SO<sub>2</sub> и др., как шарниры, повышают гибкость макромолекул, а обрамляющие группы снижают степень кристалличности и повышают растворимость. Для гетероциклических полимеров ни растворимость, ни размягчение и перевод в вязко-текучее состояние не достижимы – деструкция наступает раньше. Выход находят в формовании растворов форполимеров (высокомолекулярных олигомеров) и последующим превращением их в конечный полимер в виде волокон, плёнок, порошков путём циклизации, совмещаемой с удалением растворителя.

Пластики на основе порошкообразных полимеров и сополимеров с  $T_c \leq 570$  °С формуют спеканием, прессованием, литьём под давлением, экструзией – в зависимости от  $T_c$ ,  $T_{разл}$ ,  $T_{текучести}$ .

Изготовление наполненных пластиков из этих полимеров – сложная задача, т.к. формование, как было сказано, осуществляют из раствора форполимера, а из большого объёма удаление растворителя затруднено и сопровождается образованием пор, пустот и пр. Эти дефекты снижают механические характеристики. Кроме того, в процессе циклизации обычно выделяются низкомолекулярные вещества (H<sub>2</sub>O и т.п.), которые, так же как и растворители, необходимо удалять.

Рассмотрим несколько подробнее эксплуатационные свойства карбо- и гетероциклических полимеров.

**Карбоциклические полимеры и связующие.** Полифенилены даже с низкой молекулярной массой  $M_m$  нерастворимы вплоть до  $550\text{ }^\circ\text{C}$ , температуре, близкой к началу температуры разложения. В них не определяется ни  $T_c$ , ни  $T_{пл}$ . – это свидетельствует об очень большой величине сегмента. В инертной атмосфере ( $N_2$ ) потеря массы в 5 % наступает при  $620\text{ }^\circ\text{C}$ , а на воздухе – уже при  $440\text{ }^\circ\text{C}$ . При более высокой температуре потеря массы происходит более интенсивно. Механические свойства также сохраняются на высоком уровне. Так, при  $650\text{ }^\circ\text{C}$  сохраняется 50 % прочности, а 50 % модуля упругости сохраняется до  $800\text{ }^\circ\text{C}$ , при этом выход кокса составляет 80–85 %.

Для использования полифенилена в качестве связующего композиционных материалов разработаны приёмы, позволяющие регулировать структуру сетки, разработаны системы, где реакция образования сетчатого полимера не сопровождается выделением низкомолекулярных продуктов.

Полифениленоксиды – термопластичные полимеры, по свойствам похожи на поликарбонат, но более теплостойки, их  $T_c = 200\text{--}210\text{ }^\circ\text{C}$ . Полифениленоксиды перерабатывают литьём под давлением, но из-за высокой вязкости расплава формование проводят при  $T \geq 290\text{ }^\circ\text{C}$  под давлением 56–140 МПа. Эти полимеры являются высокочастотными диэлектриками

Полисульфоны в большинстве являются аморфными, их  $T_c$  определяется концентрацией фениленовых звеньев и групп  $SO_2$ . Полимеры устойчивы к термической и термоокислительной деструкции, к радиации, имеют низкую ползучесть. По этому показателю они превосходят все карбоциклические полимеры. Некоторые полисульфоны при  $260\text{ }^\circ\text{C}$  даже за 1000 ч имеют потерю веса порядка 1 %, при этом прочностные и деформационные свойства слабо зависят от температуры. Полимеры устойчивы к образованию трещин при высоких напряжениях.

**Полифениленсульфиды (ПФС).** Линейный высококристаллический ПФС имеет  $T_{пл} = 288\text{ }^\circ\text{C}$ , растворяется только в хлорированных ароматических углеводородах. Сетчатый ПФС имеет высокую стойкость к термической и термоокислительной деструкции – начало разложения проявляется при  $410\text{--}430\text{ }^\circ\text{C}$ , а потеря 50 % массы происходит при  $580\text{ }^\circ\text{C}$  – это выше, чем у полибензимидазола, полибензоксазола, полиимида и др. Высокая термостойкость объясняется уплотнением сетки на стадиях термоокислительной деструкции – в сетке один узел приходится на 16 мономерных звеньев. Олигофениленсульфиды медленно отверждаются при  $180\text{ }^\circ\text{C}$ , что позволяет осуществлять формование под давлением. Окончательное доотверждение проводят при  $260\text{--}290\text{ }^\circ\text{C}$ .

**Ароматические полиамиды** являются кристаллизующимися полимерами – их  $T_{пл}$  находятся в диапазоне  $185\text{--}470\text{ }^\circ\text{C}$ . В этом классе практическое применение получили поли-*m*-фениленизофталамид (фенилон) и поли-*n*-фениленизофталамид (кевлар, тварон). Они устойчивы ко многим химическим реагентам, к ионизирующим излучениям. Расплавы этих полимеров имеют очень высокую вязкость ( $\approx 5 \cdot 10^3\text{ Па}\cdot\text{с}$ ), что практически не допускает переработку литьём под давлением. Фасонные изделия – поршневые кольца, втулки, подшипники скольжения, уплотнители, муфты, скользящие

контакты, части вентиля и т.п., изготавливают горячим прессованием. Очень большое значение в производстве композиционных материалов приобрели волокна из этих полимеров, формируемые из растворов. Они обладают очень высокими механическими свойствами: прочность выше 4,2 ГПа, модуль упругости порядка 180 ГПа, а удельные значения, т.е., отнесённые к плотности, в 5–6 раз превосходят высокопрочные стали.

**Гетероциклические полимеры и связующие.** Полиимиды сочетают высокую теплостойкость с высокой хладостойкостью, стойкостью к термодеструкции, огнестойкостью, стойкостью к радиации, стабильностью диэлектрических свойств в широком интервале температур. Полиимиды, к которым относятся полиамидоимиды, полиэфироимиды, полиамидокислоты, чаще используют для изготовления пластиков, реже – связующих.

В производстве плёнок, волокон, покрытий, порошков используют полиамидокислоты, т.е. полимер с незавершённой циклизацией, способный растворяться. После формования удаление растворителя совмещают с циклизацией и превращением в полиимид.

**Полибензимидазолы** имеют температуру начала деструкции в  $N_2$  от 550 до 600 °С. Это достаточно большие значения, но среди гетероциклических полимеров не самые высокие. Полибензотриазолы начинают деструктировать в  $N_2$  при 625–650 °С, полихиноксалины – при 650–670 °С, пирроны – при 650–700 °С. Однако стойкость полибензимидазолов к термоокислительной деструкции достаточно низкая. Среди гетероциклических полимеров наиболее устойчивы к термоокислительной деструкции полибензоксазолы.

Однако синтезировать их достаточно сложно. Более доступными оказались полиоксадиазолы.

Их применяют для получения плёнок и волокон – они хорошо сохраняют прочность при высоких температурах ( $E_{упр}$  при 300 °С составляет 15000–17000 МПа).

К достоинствам полибензимидазолов относится высокая адгезия к различным поверхностям. Причина этого – в наличии атомов Н в бензимидазольном цикле. Этот же водород способствует протеканию межмолекулярных реакций при отверждении. Всё это вместе взятое обеспечивает высокое качество наполненных пластиков.

**Полимерные композиционные материалы (ПКМ).** ПКМ, содержащие порошкообразные и газообразные наполнители, уже рассматривались в предыдущих главах. В этом разделе будут кратко рассмотрены ПКМ, содержащие анизометричные наполнители – нити, волокна, жгуты, ткани, бумагу, маты и др. Технология их изготовления включает получение полимерного полуфабриката (препрега) путём пропитки наполнителя полимерным связующим с последующей сушкой и отверждением связующего обычно в процессе прессования.

**Слоистые пластики (ламинаты)** изготавливают прессованием из листов бумаги или ткани, пропитанных термореактивными смолами – фенолоформальдегидной, эпоксидной, полиэфирной. Слоистые пластики применяются в строительстве, в мебельной промышленности, в

приборостроении и др. В радиоэлектронике используются как жёсткие платы толщиной 0,25–3 мм, так и гибкие платы (0,25–0,1 мм). Слоистые пластики могут включать один или два поверхностных слоя металлической фольги: в радиоэлектронике используют слои медной фольги для дальнейшего изготовления заготовок печатных плат методом травления; для создания конструктивных и строительных лёгких элементов в слоистых пластиках используют тонкие листы алюминиевых сплавов, которые придают дополнительную жёсткость и прочность. Слои из сотопластов обеспечивают звукоизоляцию и ещё более облегчают панели из слоистых пластиков. Для строительства слоистым пластикам зачастую придают гофрированную форму.

Лёгкие высокопрочные детали, трубы, конструктивные элементы из ПКМ изготавливают из волоконитов: пучков волокон (и тканей) из стеклянных, углеродных, металлических, борных и органических (из ароматических полиамидов) волокон. Изделия из таких ПКМ широко применяются в авиастроении, ракетостроении, судостроении, где требуется максимальное соотношение прочность/масса. ПКМ зачастую дублируются со слоями из листов металлов, эластомеров (резины) для обеспечения высокой прочности, шумопоглощения, устойчивости к ударным нагрузкам.

**Полимеры со специфическими свойствами.** Это достаточно условный термин, он подчёркивает применение некоторых полимеров не в качестве конструкционных, где требуется прочность, термо- и теплостойкость и т.п., не в качестве диэлектрика, где эксплуатируются присущие полимерам электрические свойства, а в иных качествах. Это флуоресцирующие полимеры, светочувствительные, оптические, антистатические, биодеструктурируемые и т.п. Часто этими свойствами обладают уже рассмотренные конструкционные полимеры.

**Полимеры со специфическими электрическими свойствами. Антистатические полимерные материалы.** Как известно, в большинстве своём полимеры являются диэлектриками, а одним из основных свойств диэлектриков, по определению, является способность длительно сохранять электростатическое поле. Статическое электричество может вызывать нарушение технологических режимов, приводить к взрыво- и пожароопасности при искровых разрядах, снижать производительность труда, оказывать неблагоприятное биологическое воздействие на организм человека. Поэтому особое внимание уделяется разработке и созданию антистатических полимерных материалов.

Электрические заряды в диэлектриках концентрируются в тонком поверхностном слое толщиной в несколько нм. Их накапливание и стекание тесно связаны с удельным поверхностным сопротивлением  $\rho_s$ . Замечено, что при  $\rho_s$  меньше  $10^{10}$  Ом статические заряды не накапливаются. Отсюда понятно, что задача создания антистатических полимерных материалов сводится к созданию материалов с  $\rho_s \leq 10^{10}$  Ом.

Эта задача решается введением в полимер или на его поверхность специальных добавок. Вводя в полимеры токопроводящие частицы, например, сажу (графит), можно существенно уменьшить объёмное электрическое

сопротивление вплоть до достижения электропроводности, присущей проводниковым материалам. Такие материалы не будут накапливать статическое электричество, но они уже не будут диэлектриками.

Поверхностная обработка полимерных материалов антистатиками не изменяет объёмного электрического сопротивления, но существенно изменяет поверхностное электрическое сопротивление. Антистатики можно вводить и в объём полимера. Соответственно различают поверхностные и внутренние антистатики. Строго говоря, антистатическими полимерными материалами можно считать только содержащие внутренние антистатики.

Антистатической модификации подвергают поливинилхлорид и его сополимеры, полиолефины – политэтилен, полипропилен, полиуретаны, АБС-пластики и термоэластопласты, феноло- и меламиноформальдегидные олигомеры.

**Полимерные электреты.** Электреты – тела из диэлектриков, обладающие электрическими зарядами, длительно сохраняющимися во времени и образующие вокруг себя электрическое поле. Обычно электретами являются пленки, на противоположных поверхностях которых располагаются электрические заряды разных знаков. Плотность поверхностных зарядов электретов  $\sigma_{эфф}$  складывается из «гетерозаряда» (поляризованности)  $P_0$  и «гомозаряда»  $\sigma_r$ , причем знаки этих зарядов противоположны:

$$\sigma_{эфф} = \sigma_r - P_0$$

Электреты называются по способу получения: термоэлектреты получают при проведении поляризации при повышенной температуре и охлаждении диэлектрика в поле до комнатной температуры; коронозлектреты получают при воздействии на поверхность диэлектрика коронного разряда; радиационные электреты получают при облучении диэлектрика радиоактивным излучением; механо- и технологические электреты получают в процессе прессования или других технологических операций.

В промышленности в настоящее время чаще всего получают электреты в виде пленок из высококачественных диэлектриков – политетрафторэтилена или сополимера тетрафторэтилена с гексафторпропиленом, которые заряжают в коронном разряде. Пленочные электреты используют в конденсаторных микрофонах, их применение упрощает электронную схему микрофона, исключает необходимость внешнего источника питания для заряжения конденсатора. Другая распространенная область применения электретов – фильтры для улавливания радиоактивной или промышленной пыли. Их эффективность значительно выше, чем фильтров других типов. В фильтрах электреты используются в виде волокон или пленок.

Время сохранения зарядов в современных электретах – более 10 лет.

Полимерные электреты из полярных диэлектриков, обладающие гетерозарядом, проявляют пьезо- и пироэлектрические свойства.

**Полимерные полупроводники и проводники.** Органические проводники получают либо вводя электропроводящие наполнители в полимеры –

термопласты или реактопласты, либо они представляют собой по химическому строению полисопряжённые молекулы, зачастую молекулы полимеров, например, полиацетилен –  $\text{CH} = \text{CH} - \text{CH} = \text{CH} - \text{CH} = \text{CH} -$ . В первом случае проводимость осуществляется по объёмной сетчатой структуре, образованной частицами наполнителя: частицами технического углерода, графита, металлов (железа, никеля, серебра), резанного стеклянного волокна, покрытого серебром или никелем, резанной алюминиевой фольги, углеродными волокнами. При наполнении полимеров момент образования сетчатой электропроводящей структуры из частиц наполнителя называется точкой перколяции. Ей соответствует объёмное содержание наполнителя  $V_n$ . Обычно оно составляет 15–30 об.%. Для углеродных и других токопроводящих волокон, а также полосок алюминиевой фольги  $V_n$  составляет менее 5 %. Чем меньше  $V_n$ , тем более эффективен наполнитель для создания электропроводности.

Проводимость во втором случае обеспечивается делокализацией электронов, лёгким перемещением их вдоль макромолекулярных цепей с сопряжёнными связями. Характеристики подвижности электронов вдоль цепи близки к характеристикам движения электронов в сверхпроводниках, реально электросопротивление материала обусловлено исключительно затруднением перескока электронов от одной макромолекулы к другой. Полимерные структуры типа полиацетилена, так называемые структуры с «открытой» цепью сопряжения, склонны вступать в химические реакции с окружающей средой, поэтому они зачастую химически нестабильны. Путём «допирования» (введение в полимер специальных низкомолекулярных добавок) полиацетилена иодом с последующей ориентационной вытяжкой удалось получить материал с электропроводностью на уровне меди и серебра.

Технология изготовления органических полупроводников гораздо более дешёвая, не требует использования вакуума, высокочистых кристаллов.

**Флуоресцирующие полимеры.** В целом ряде областей применения от полимеров требуются определённые оптические характеристики (прозрачность, яркая окраска и пр.) Способность преобразовывать энергию излучения одного спектрального состава в излучение с другим спектральным составом также является важнейшим свойством полимеров и используется при изготовлении пластмассовых сцинтилляторов, активных элементов для лазерной техники, флуоресцирующих пигментов и красок и пр.

Известно, что многие органические соединения обладают способностью люминесцировать (светиться) под действием излучений различного типа. Если источником возбуждающей энергии служат УФ-лучи и лучи коротковолновой части видимой области спектра (фотолюминесценция), то это и будет флуоресценция.

Чтобы полимер обладал люминесценцией, макромолекула должна иметь определённое строение, например, развитую систему сопряжённых связей, достаточно жёсткую структуру и т.д. Большинство флуоресцирующих полимеров, получаемых полимеризацией, представляют собой сополимеры низкомолекулярных люминофоров с винильными группами и традиционных ненасыщенных соединений. В качестве первых сомономеров обычно



используют производные нафталина, антрацена, пирена, т.е. содержащих конденсированные бензольные кольца. В качестве второго сомономера применяют, как правило, стирол и производные акриловых и метакриловых кислот. Для поликонденсационных полимеров структуры, содержащие конденсированные бензольные или гетероциклы, должны обладать как минимум двумя функциональными группами. В настоящее время синтезировано большое количество полимеров различной природы, обладающих флуоресценцией.

Важной областью применения флуоресцирующих полимеров является регистрация ионизирующих излучений – пластмассовые сцинтилляторы (ПС). Чаще всего в качестве основы для ПС используют полистирол и его производные.

**Оптические полимеры.** При использовании полимеров в качестве оптических материалов существенную роль играет их способность преломлять и отражать свет, которая определяется показателем преломления:

$$n = c/v,$$

где  $c$  – скорость света в вакууме, а  $v$  – скорость света в среде.

По сравнению с оптическими стёклами, имеющими коэффициент преломления от 1,44 до 1,81, ассортимент органических стёкол существенно беднее; их коэффициент преломления лежит в области от 1,46 до 1,59.

Другим недостатком полимеров является большой ТКЛ – на порядок больше, чем у стёкол, и низкая твёрдость. Тем не менее, полимеры всё шире используются в линзовой оптике, т.к. они в 2–3 раза легче стёкол, у них выше ударная вязкость. Это обуславливает их применение в военной технике и для изготовления контактных линз.

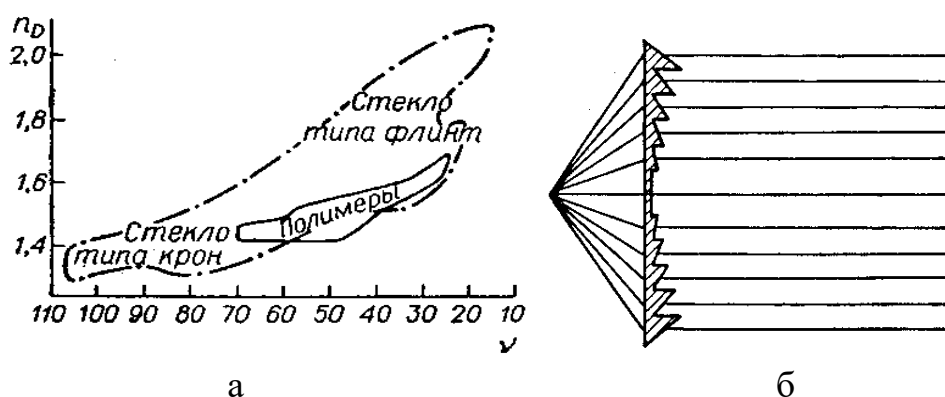


Рисунок 1 – а) Диаграмма  $n_D - \nu$  (частота, Гц) для оптических стёкол и полимеров; б) Линза Френеля

Полимеры отличает лёгкая формуемость, возможность изготавливать детали сложной конфигурации. Так, линзы Френеля (представляют собой концентрическую систему колец различного профиля) из полимеров

практически свободны от сферической аберации, отличаются большим углом охвата по сравнению с обычной сферической оптикой. Линзы Френеля используют в прожекторах, диапроекторах, в конденсорных устройствах, в видоискателях, в изделиях массового потребления (лупы, бинокли, простая фотооптика).

Основные оптические полимеры – ПММА, ПС, поликарбонат, поли-4-метил-пентен-1, сополимеры стирола и акрилонитрила.

Другие области использования оптических полимеров – светотехника (осветительная и сигнальная), поляроиды, волоконная оптика, оптические клеи для склеивания линз, стёкла «триплекс» и др. Стёкла типа «триплекс» состоят как минимум из двух слоёв неорганического стекла и слоёв поливинилбутираля, соединяющих стеклянные слои.

**Светочувствительные полимерные материалы.** К полимерам, используемым для изготовления светочувствительных материалов, относятся целлюлоза и её производные – монокарбоксилцеллюлоза, карбоксиметилцеллюлоза, сульфопроизводные целлюлозы, полиакриловая (ПАК), полиметакриловая (ПМАК) кислоты и их смеси с поливиниловым спиртом (ПВС), сополимеры целлюлозы с акриловой и метакриловой кислотами, сополимеры акрилонитрила с итаконовой кислотой, сополимеры поливинилового спирта с акриловой и метакриловой кислотами и др.

**Ионнообменные полимеры.** Присутствие в полимере групп, проявляющих кислотные или основные свойства, позволяет осуществлять реакции обмена с катионами или анионами. Такие полимеры называют ионнообменными. Соответственно, различают катиониты, поглощающие из раствора электролита катионы и способные обменивать их в эквивалентных количествах на другие катионы, и аниониты, способные поглощать из раствора анионы и обменивать их на другие анионы.

Катиониты проявляют свойства поликислот, аниониты – свойства полиоснований.

Реакции катионного и анионного обмена могут быть изображены следующими схемами:



Здесь R – неподвижный макромолекулярный ион.

Катиониты, как правило, содержат сульфогруппы, карбоксильные, фосфиновокислые, мышьяковокислые, селеновокислые группы и др. Например, фенолоформальдегидные смолы являются катионитами (слабыми, т.е. имеют низкую ёмкость). Более сильные катиониты получают поликонденсацией *n*-фенолсульфокислоты или её натриевой соли с формальдегидом.

Катиониты полимеризационного типа получают сополимеризацией стирола с дивинилбензолом или подобным сомономером, например, диизопропилбензолом и, порой, дополнительно, акрилонитрилом,

винилпиридином и др. Сильнокислотные группы  $-\text{SO}_3\text{H}$ ,  $-\text{PO}_3\text{H}_2$  вводят в синтезируемый сетчатый полимер реакциями полимераналогичных превращений.

Аниониты содержат в макромолекулах ионогенные группы основного характера – аминогруппы, пиридиновые и др. Они, как и катиониты, могут быть получены как методами поликонденсации, так и полимеризации. Например, совместной поликонденсацией пиридина, полиэтиленполиамин и эпихлоргидрина получают сильноосновные аниониты. Сополимеризацией стирола и дивинилбензола с последующими полимераналогичными превращениями неионогенных групп в анионообменные или непосредственно сополимеризацией мономеров, проявляющих основные свойства (2-метил-5-винилпиридин и др.), получают аниониты различной ёмкости.

Форма ионитов – как правило, мелкие шарики (бисер). Поскольку данные реакции ионного обмена являются гетерогенными, предпринимались усилия по увеличению поверхности ионитов. Это достигается либо увеличением пористости бисера, либо приданием иониту гелеобразной структуры.

**Биодеструктируемые полимеры.** Эти полимеры применяют в медицине для склеивания операционных ран вместо наложения швов, покрытий для лечения ран и ожогов, обеспечивающих регенерацию тканей, для создания пролонгированных форм лекарственных препаратов и др. Продукты биодеструкции через определённое время должны выводиться естественным путём из организма.

Большое значение в медицине, в частности в хирургии, приобрели **цианакрилатные клеи.**

Скорость их биодеструкции зависит от длины углеводородного радикала R – чем длиннее R, тем медленнее протекает деструкция. В продуктах деструкции обнаруживается формальдегид и циануксусный эфир.

Наибольшее распространение в медицине получили полиуретановые клеи. Уретановая группа  $-\text{NH}-\text{C}(\text{O})-\text{O}-$  близка по химическому строению к пептидной группе белков  $-\text{C}(\text{O})-\text{NH}-$ . Это определяет биосовместимость полиуретанов. Продукты биодеструкции ПУ-клеёв не токсичны и выводятся из организма естественным путём.

Важное значение имеют шовные хирургические материалы, рассасывающиеся в живом организме. Это, например, выпускаемая в России хирургическая кручёная нить из модифицированного полигликолидлактида.

Некоторые полимеры, например, растворимый в воде поливинилпирролидон  $-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CO})-$  используют как заменитель плазмы крови.

Другой необычайно ёмкой областью применения биодеструктируемых полимеров являются полимерные упаковочные материалы. Дело в том, что из 130 млн. т/год всех выпускаемых полимеров почти половина (41 %) используется в производстве упаковки и почти половина (47 %) этого количества становится упаковкой пищевой продукции, а это 25 млн т/год. Полимерная упаковка удобна, безопасна, дешёва, но практически вечна и это является глобальной экологической проблемой. Если не создать полимеры,

разлагаемые в природе на безвредные компоненты, то современная цивилизация утонет в мусоре. Ведь 40 % бытового мусора состоит именно из полимерной упаковки.

Самое перспективное в настоящее время направление – производство полимеров на основе гидроксикарбоновых кислот  $\text{HORC(O)OH}$ . Так, полимеры полигидроксимасляной, гликолевой, молочной, валериановой и капроновой разлагаются микроорганизмами на  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ . Один из самых перспективных биодеструктурируемых полимеров для упаковки – продукт конденсации молочной кислоты  $\text{HO-CH(CH}_3\text{)-COOH}$  : полилактид  $\text{HO-[CH(CH}_3\text{)-C(O)-O-]}_n\text{-H}$ . Полилактид – прозрачный, бесцветный, термопластичный материал, в компосте разлагается за 1 месяц, разлагается микробами морской воды, в пластифицированном виде напоминает полиэтилен, полипропилен, пластифицированный поливинилхлорид. Пригоден для изготовления подносов, тарелок, плёнок, волокон, в том числе медицинского назначения.

Массовое производство полилактида сдерживается дороговизной мономера. В настоящее время стоимость полилактида составляет 250 \$ US/кг. При снижении стоимости до 1–2 \$ US/кг полилактиду будет обеспечено широкое применение.

Другое направление в создании биодеструктурируемых в природе полимерных материалов – это композиционные материалы, содержащие крахмал, целлюлозу, лигнин, хитин и другие природные материалы. Матрицей служат полиолефины, полиэфиры, полиэфирамиды, сополимеры, содержащие уретановые, карбонатные группы и фрагменты гидроксикарбоновых кислот.

**Углеродные материалы и композиции.** Материалы этого типа, с одной стороны, относятся к неорганическим, а с другой стороны, искусственно получают их из органического сырья. Таким образом, они являются как бы переходными от органических к неорганическим материалам.

В природе углерод встречается в виде алмаза, графита и саж. Искусственно получены ещё несколько форм углерода: карбин, фуллерены, нанотрубки. Углерод в алмазе, графите и карбине имеет различный тип гибридизации. В алмазе наблюдается  $sp^3$ -гибридизация, в графите  $sp^2$ -гибридизация и в карбине  $sp$ -гибридизация. Наряду с чистыми аллотропными формами углерод образует большое число промежуточных соединений, содержащих комбинации атомов с различными типами гибридизации.

Кристаллическая решётка алмаза относится к атомному типу. Элементарная ячейка представляет собой тетраэдр, в центре и четырёх вершинах которого расположены атомы углерода. Координационное число решётки алмаза равно 4, все атомы углерода в кристаллической решётке расположены друг от друга на одинаковом расстоянии 1,54 Å. Каждый из них связан друг с другом неполярной ковалентной связью. Любой кристалл алмаза, следовательно, можно рассматривать как гигантскую молекулу. Решётка алмаза, не имеющая искажённых валентных углов, сильно сопротивляется любым видам деформации. По этой причине алмазу свойственны высокая твёрдость (наибольшая из всех известных веществ), высокая прочность,

заметная хрупкость, тугоплавкость (он возгоняется при 3700 °С). Плотность алмаза 3510 кг/м<sup>3</sup>.

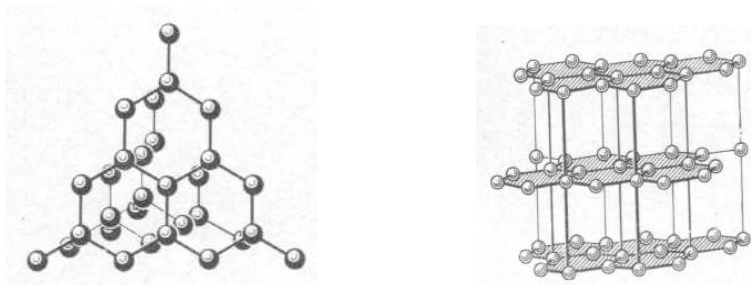


Рисунок 2 – Кристаллические решётки алмаза и графита

В природе алмазы образовались от  $1750 \cdot 10^6$  до  $90 \cdot 10^6$  лет тому назад на большой глубине (около 150–200 км) в мантии земли, где стабильные давление ( $P \geq 45$  ГПа) и температура (900–1400 °С), а затем магмой были вынесены в земную кору. Искусственное получение алмазов было осуществлено в 1897 году Муассеном путём насыщения расплава железа углеродом (графитом) и резким охлаждением слитка. Такая технология имитировала природные условия образования алмазов. С 1955 года алмазы получают в промышленных масштабах из графита при  $\sim 3000$  °С и давлениях 10 ГПа. В настоящее время разработаны технологии синтеза не только изолированных кристаллов, но и поликристаллических блоков алмазов (алмазитов) при более мягких условиях ( $P \geq 7,5$  ГПа,  $T = 1500$ –2000 °С, катализатор). Искусственные алмазы имеют небольшие размеры – 0,2–20 мкм и применяются как абразивный материал при изготовлении полировочных паст, отрезных дисков, режущего инструмента и т.д. Есть пути синтеза алмазов, не требующие экстремальных условий: это осаждение на поверхности затравочного кристалла из углеродсодержащего газа (например, метана), а также плазмохимический метод. В зависимости от природы поверхности затравочного кристалла можно получать поликристаллические слои или тонкие монокристаллические плёнки. В последнем случае электрической проводимостью можно управлять, просто добавляя в плазму атомы бора, которые служат в кристалле дырками.

Графит – более устойчивая форма, чем алмаз. При нагревании до высокой температуры в отсутствие воздуха алмаз превращается в графит. Природный графит имеет вид землистой или слоистой тёмно-серой массы с металлическим блеском, холодной и жирной на ощупь. Графит имеет гексагональную кристаллическую решётку, атомы углерода расположены в параллельных слоях (базисных плоскостях). В направлении, перпендикулярном базисным плоскостям, связь в 6 раз слабее, чем в слоях. Из-за этого отдельные слои легко скользят относительно друг друга и это свойство используется при создании антифрикционных материалов. Другой особенностью графита является высокая электропроводность (однако, ниже, чем у металлов и сплавов), значительная теплопроводность и стойкость к воздействию неблагоприятных климатических факторов. Эти свойства обусловили применение графита в электро- и радиотехнике.

Известен ряд способов получения искусственного графита путём термической перекристаллизации углей при температуре 2200–2500 °С. Благодаря испарению зольных примесей искусственные графиты более чистые, чем природные.

**Углеродные волокна (УВ).** Огромное практическое значение среди углеродных материалов имеют углеродные волокна. Способ получения волокон из углерода – неплавкого и нерастворимого вещества – осуществлён впервые Эдисоном и Сваном. Им удалось, нагревая хлопковое волокно в определённых условиях, не разрушить его, а превратить в углеродное. Этот процесс термообработки без доступа воздуха называется пиролизом.

Углеродные волокна из пеков – самые дешёвые, т.к. пеки приблизительно в 100 раз дешевле, чем ПАН- и вискозные волокна. Да и выход готового УВ из пеков составляет 85–90 %, в то время как из ПАН-волокна – 40 %, а из вискозного волокна – 15–20 %. Однако само производство волокна из пеков достаточно сложно.

По свойствам все УВ подразделяются на высокопрочные, высокомодульные и низкоимодульные. Это в первую очередь зависит от технологического режима термообработки, а затем – от свойств и природы исходного сырья. Высокопрочные волокна практически всегда получают из ПАН-волокон. Их прочность лежит в интервале от 2,4 до 5,4 ГПа, модуль упругости – 215–255 ГПа. Высокомодульные углеродные волокна можно получать из любого сырья. Характеристики волокна, полученного из ПАН-волокон, выше ( $\sigma_p = 2,0\text{--}2,5$  ГПа,  $E_p = 343\text{--}400$  ГПа), чем у полученных из вискозного волокна ( $\sigma_p = 2,0\text{--}2,14$  ГПа,  $E_p = 34\text{--}350$  ГПа) или пеков ( $\sigma_p = 2,1$  ГПа,  $E_p = 380$  ГПа). Низкомодульные УВ имеют  $\sigma_p = 1,1\text{--}1,2$  ГПа,  $E_p = 69\text{--}99$  ГПа.

Для получения тканых изделий из УВ существует два способа: ткачество исходных волокон и последующая переработка тканых изделий в УВМ и другой способ – получение углеродных нитей или жгутов и их последующее ткачество.

УВМ используются главным образом как наполнители композиционных материалов. Это обусловлено их чрезвычайно высокими механическими свойствами. Высокая жёсткость УВ определяет низкие механические потери при динамических нагрузках: tgδ механических потерь имеет значения порядка  $10^{-2}$  при частоте  $\sim 1$  Гц и уменьшается с увеличением частоты нагружения и ростом модуля упругости волокна.

Для УВ характерны не только высокие значения упруго-прочностных показателей, но и их стабильность в широком интервале температур вплоть до 1700 °С. В присутствии окислителей термостойкость УВ снижается и колеблется в интервале 450–725 °С.

Электрофизические свойства УВ в зависимости от типа исходного сырья и условий термообработки изменяются от диэлектрических до проводниковых: удельное объёмное электрическое сопротивление изменяется от  $10^{14}$  до  $10^{-3}$  Ом·см. При низких температурах термообработки УВ проявляют свойства полупроводников – ширина запрещённой зоны меньше 2 эВ. С увеличением

температуры обработки ширина запрещённой зоны уменьшается до 0,02 эВ; при температуре термообработки 725 °С проводимость УВ приобретает «полуметаллический» характер. При высоких температурах термообработки электропроводность УВ приближается к электропроводности графита.

**Углепластики (УП).** Основная область применения УП – композиционные материалы, преимущественно, с полимерными матрицами. Вместе с тем УП успешно применяются и в композиционных материалах с металлической (алюминиевой) и керамической матрицами. Из полимерных матриц чаще используются термореактивные (фенолоформальдегидные, эпоксидные, полиэфирные, полиамидные и др.). Изготовление углепластиков с термореактивными матрицами имеет некоторые отличия от изготовления, например, текстолита. Это связано с инертностью поверхности УП, их жёсткостью и значительной пористостью. Так, обязательной операцией является предварительная обработка поверхности УП с целью улучшения её смачиваемости растворами или расплавами связующих. Эту операцию обычно проводят на заводах-изготовителях УП. Вопросы смачивания и пропитки УП влияют на выбор связующих. Оптимальные связующие для УП – эпоксидные олигомеры, имеющие хорошую адгезию к УВ. Остальные термореактивные связующие используют в тех случаях, когда УП должен обладать специфическими свойствами. Так, УП на силиконовых и полиимидных связующих обладают повышенной термостойкостью, фуриловые и фурановые олигомеры обеспечивают повышенный коксовый остаток, фенолоформальдегидные связующие применяют для получения материалов с повышенной термо- и кислотостойкостью.

Термопластичные матрицы по сравнению с термореактивными имеют то преимущество, что могут перерабатываться в изделия относительно простыми и доступными методами – литьём под давлением, литьевым прессованием, экструзией и т.п. Эти методы позволяют изготавливать детали довольно сложной конфигурации с меньшими отходами и высокой производительностью. Углеродными волокнами в настоящее время наполняют литьевые композиции на основе полиолефинов, полистирола, полиамидов, полиацеталей, поликарбоната, политетрафторэтилена, полисульфона, сополимеров тетрафторэтилена с этиленом и винилиденфторидом и др. Основная область применения термопластичных углепластиков – замена цветных металлов в литых деталях сложной формы.

**Композиционные материалы на основе УВ и углеродной матрицы (Углерод Углеродные КМ, УУКМ).** Композиты этого типа являются ещё одним подтверждением многообразных свойств углеродных материалов.

Известны два основных способа получения УУКМ. Первый основан на карбонизации углепластиков, второй способ заключается в том, что на УВ наносят пироуглерод.

По первому способу осуществляют термодеструкцию матрицы, сопровождающуюся усадкой и образованием большого количества пор. Для устранения этого недостатка операцию пропитка – карбонизация повторяют несколько раз. Повторные пропитки рекомендуется проводить пеками. Как

правило, завершающей операцией является уплотнение композита пироуглеродом.

Второй способ позволяет получать монолитный материал. Это достигается в результате разложения (пиролиза) газообразных углеводородов на поверхности УВ при температуре порядка 1000–1100 °С. Из УВ образуют трёх–четырёхмерные сборки. Скорость газового потока и повышение давления благоприятно сказывается на свойствах УУКМ. Эти материалы обладают высокой теплостойкостью, в инертной атмосфере прочность остаётся неизменной вплоть до 3000 °С, модуль упругости практически не зависит от температуры испытаний. Это особенно важно при работе тормозной системы современных самолётов: там развиваются температуры до 1000–1500 °С. Таким образом, без УУКМ была бы невозможна современная реактивная авиация. Углепластики и УУКМ характеризуются высокой химической, эрозионной и радиационной стойкостью, электропроводностью, стойкостью к термическим ударам, коррозионной стойкостью в нефтепродуктах и агрессивных средах, малыми плотностью и ТКЛР.

**Электроугольные изделия** – щётки электрических машин, электроды для прожекторов, электроды для дуговых электрических печей и электролитических ванн, аноды гальванических элементов, угольные порошки для микрофонов, резисторы и др. изготавливают из графита, сажи и антрацита.

Щётки служат для образования скользящего контакта между неподвижной и вращающейся частями электрической машины, т.е. для подвода или отвода тока к коллектору или контактными кольцами. Различают щётки угольно-графитовые (УГ), графитовые (Г), электрографитированные, т.е. подвергнутые термической электрообработке – графитированию (ЭГ) и медно-графитовые – с содержанием металлической меди (М и МГ), иногда дополнительно – олова и серебра. Щётки типа М и МГ обладают особенно малым электрическим сопротивлением.

### **5.3. Переработка полимерных материалов**

Полимеры в зависимости от молекулярного строения подразделяются на термопластичные и терморезистивные. Методы их переработки в заготовки или изделия различны. Всё разнообразие методов формования, применяемых в промышленности переработки пластмасс, сводится к следующим основным группам:

- 1) каландрование и нанесение покрытий;
- 2) экструзионное формование;
- 3) формование оболочек на пуансонах и матрицах;
- 4) формование в пресс-формах литьём под давлением и заливкой;
- 5) вторичное формование.

**Процесс экструзии** заключается в продавливании материала через определённое отверстие или головку, в результате чего получается изделие



нужного профиля. Для экструзии пластмасс можно применять три типа машин: плунжерные экструдеры, насосы различного типа и червячные экструдеры.

Принцип действия плунжерных экструдеров заключается в том, что плунжер, двигаясь в цилиндре, выдавливает из него предварительно загруженный материал. Плунжерные экструдеры просты по конструкции и способны развивать любое давление, которое можно достаточно точно регулировать. Материал в процессе выдавливания не подвергается перемешиванию, что сильно затрудняет прогрев материала, т.к. полимеры обладают низкой теплопроводностью. Кроме того, недостатком является периодический режим работы.

Низковязкие материалы (растворы и расплавы некоторых полимеров) могут выдавливаться при сравнительно небольших давлениях обычными насосами, например, шестерёнчатыми, которые одновременно являются и дозаторами.

Для получения и переработки композиционных полимерных материалов с дисперсным наполнителем (включая и волокна длиной до 10–20 мм) используют разнообразные червячные экструдеры. Основным рабочим органом экструзионного червячного оборудования служит пара червяк – цилиндр. Это позволяет совмещать ряд стадий технологического процесса переработки полимеров.

Процесс производства и переработки композиционных полимерных материалов включает в себя следующие стадии:

1. Транспортировка композиции в каналах, размеры которых соизмеримы с размерами частиц или превышают их, как при переработке волокнитов.
2. Уплотнение сухой смеси в каналах (полостях), размеры которых также соизмеримы с размерами частиц. Уплотнение сопровождается разрушением волокнистого наполнителя и образованием агломератов порошкообразного наполнителя. При сжатии происходит нагрев компонентов, плавление полимера и пропитка им сухой массы наполнителя.
3. Плавление и монолитизация смеси.

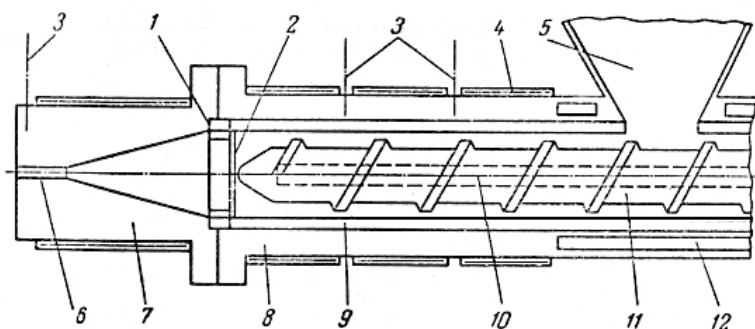


Рисунок 3 – Схема червячного (шнекового) экструдера:

- 1 – решётка; 2 – фильтрующая сетка; 3 – места установки термопар; 4 – электрические нагреватели сопротивления; 5 – бункер; 6 – формующий канал головки; 7 – головка; 8 – цилиндр; 9 – закалённая втулка; 10 – канал для подачи в червяк охлаждающей воды; 11 – червяк; 12 – полость для охлаждающей воды в зоне загрузки цилиндр

Основным рабочим элементом червячного экструдера является червяк специальной конструкции, вращающийся в обогреваемом цилиндре, на одном конце которого находится тангенциально или радиально расположенное отверстие для загрузки материала, а на другом – устройство для крепления головки. На рисунке 3 представлена схема червячного экструдера.

Вращающийся червяк захватывает материал, загружаемый обычно в виде гранул или порошка, и продвигает его через обогреваемые зоны цилиндра к головке. Часто для создания градиента давления вдоль червяка перед головкой устанавливают сопротивление в виде решётки и пакета сеток. Вследствие этого в цилиндре создаётся давление и материал уплотняется. Под влиянием деформаций сдвига в материале возникают силы внутреннего трения, при этом материал разогревается.

Производительность экструдера определяется прежде всего диаметром  $D$  и длиной  $L$  червяка. Принято характеризовать червяки (шнеки) отношением  $L/D$ . От этих параметров зависит теплопередача от стенок цилиндра к материалу, количество тепла, выделяющееся за счёт сил внутреннего трения, а, следовательно, потребляемая мощность и величина энергозатрат на единицу производительности. Большое влияние на все показатели работы экструдера оказывает также шаг червяка, угол наклона нарезки и глубина винтового канала.

Качество изделий зависит не только от конструкции машины и свойств перерабатываемого материала, но также от конструкции головки и приёмного оборудования. Расплав, подаваемый шнеком, приобретает соответствующую форму в головке. Перед входом в головку расплав продавливается через решётку. Часто перед решёткой дополнительно устанавливают пакет проволочных сеток. Сеточный элемент состоит из комбинации тонкой сетки (100–200 меш) и поддерживающей её грубой сетки. Решётка и сетки обеспечивают: 1) фильтрацию расплава – удаление загрязнений и частиц нерасплавленного материала; 2) возможность дополнительного регулирования противодействия на шнек; 3) превращение вращательного движения расплава в шнеке в течение, параллельное оси экструзии.

По взаимному расположению направлений входа расплава в головку и выходу изделия различают три вида головок: прямоточные, угловые и офсетные.

В прямоточных головках эти направления совпадают. Прямоточные головки применяют в основном для изготовления труб, прутков, профилей, листов, а с использованием различных переходников – для производства рукавных и плоских плёнок.

В угловых головках расплав входит под некоторым углом к направлению выхода экструдата. Головки этого типа используют для нанесения изоляции на провода и кабели. Преимуществом угловых головок является лёгкий доступ к дорну.

Офсетные головки соединяют в себе преимущества угловых и прямоточных. В них расплав совершает двойной поворот под прямым углом, что позволяет компенсировать неравномерности потока, возникающие в

обычных угловых головках при одинарном повороте. Комплектующее оборудование в офсетных головках чаще всего располагается на одной оси с экструдером. На рисунке 4 представлены схемы прямоточной, угловой и офсетной головок для формования труб и рукавной плёнки.

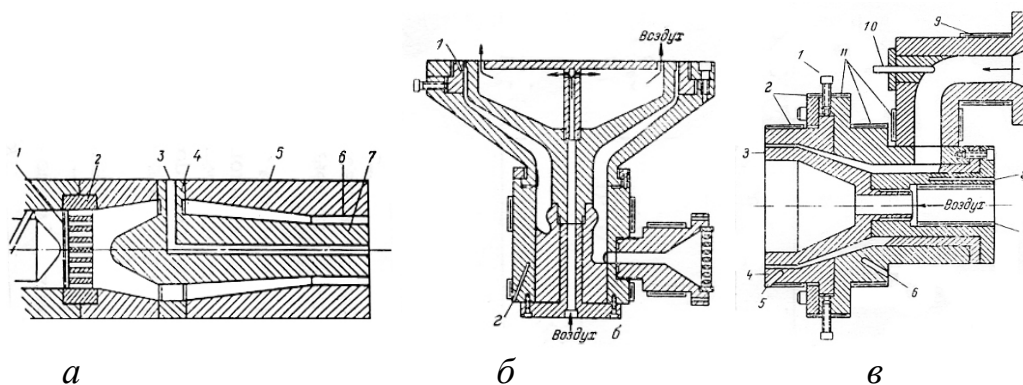


Рисунок 4 – Схема прямоточной прямоточной (а), угловой (б) и офсетной (в) головок для формования труб

Для формования изделий различной формы разработано большое количество головок разнообразных конструкций.

**Литьевое формование полимеров** заключается в заполнении жидким полимером формы с последующим отверждением полимера тем или иным способом. Существует несколько видов литьевого формования, одним из которых является литьё под давлением.

Литьё под давлением – это метод формования изделий из полимерных материалов, заключающийся в нагревании материала до вязкотекучего состояния и передавливании его в закрытую литьевую форму, где материал приобретает конфигурацию внутренней полости формы и затвердевает. Этим методом получают изделия массой от нескольких граммов до нескольких килограммов с толщиной стенок 1–20 мм (чаще 3–6 мм). Литьём под давлением перерабатывают как термопластичные, так и терморезистивные материалы.

Для осуществления литья под давлением применяют плунжерные или шнековые литьевые машины, на которые устанавливаются литьевые формы различной конструкции.

Шнековые машины, применяемые для литьевого формования, отличаются от применяемых при экструзии тем, что шнек в рабочем цилиндре может совершать возвратно-поступательное движение. Литьё под давлением и высоких температурах при помощи шнековых машин ещё называют интрузией. Схемы литьевой машины с плунжерной (а) и шнековой (б) пластикацией представлены на рисунке 5.

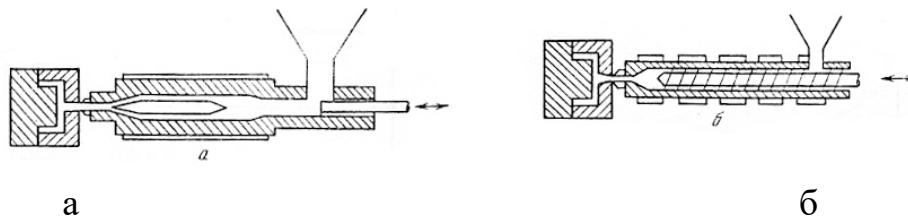


Рисунок 5 – Схемы литейной машины с плунжерной (а) и шнековой (б) пластикацией

Использование шнекового (червячного) пластикатора с возвратно-поступательным движением шнека вместо плунжера позволяет не только нагревать до вязко-текучего состояния полимер перед впрыском, но и улучшить гомогенизацию расплава и повысить точность дозирования.

**Инжекционное прессование.** Этот метод применяют для формирования особо тонкостенных изделий, в частности, имеющих мелкий рисунок или фактуру поверхности. Заполнение форм для таких изделий при обычном режиме впрыска в замкнутую форму практически невозможно из-за преждевременного отвердевания материала в оформляющей полости ещё на стадии впрыска.

Заполнение формы в режиме инжекционного формирования происходит в четыре этапа:

1. Подвод сопла 1 узла впрыска к форме.
2. После подвода сопла 1 полуформы 3 и 4 частично смыкаются так, чтобы образованный ими пока не замкнутый канал оформляющей полости шириной  $H_0$  не оказывал значительного гидравлического сопротивления впрыскиваемой в него червяком 5 дозы.
3. После впрыска полуформы начинают смыкаться под воздействием усилия  $F$ , причём расплав растекается в форме, достигая отжимных кантов 7.
4. Начиная с этого момента происходит истечение расплава в облой 8, прекращающееся с отвердеванием материала между отжимными кантами.

Схема работы литейной машины в режиме инжекционного прессования представлена на рисунке 6.

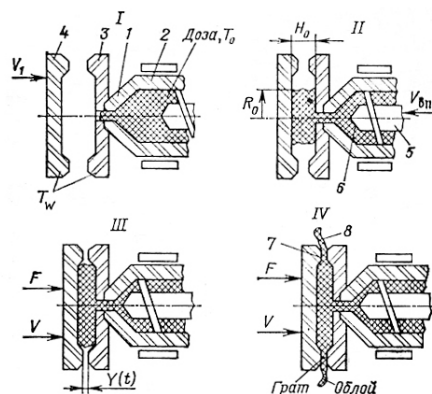


Рисунок 6 – Схема работы литейной машины в режиме инжекционного прессования

**Прессование** – это технологический процесс изготовления изделий из полимерных материалов, заключающийся в пластической деформации материала при действии на него давления и последующей фиксации формы изделия. Кстати, прессование находит применение и в технологии металлов, и в технологии стекла и керамики.

Рассмотренное выше инжекционное прессование в равной степени может относиться как к разновидности литья под давлением, так и к разновидности прессования. Наиболее распространённый и простой в аппаратном оформлении является метод компрессионного прессования реактопластов в нагретые формы (горячее прессование).

Пресс-форма (рис. 7) состоит из пуансона и матрицы, которые могут иметь нагревающие элементы, и выталкивателей отформованного изделия.

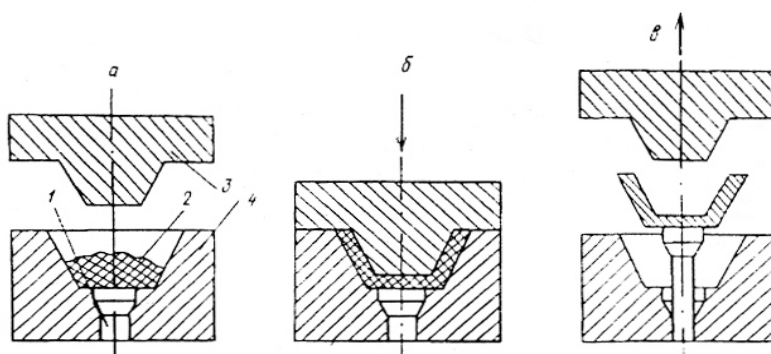


Рисунок 7 – Схема изготовления изделий методом компрессионного формования

Материал загружается в открытую полость формы (часто вручную), затем пуансон опускается, материал уплотняется, заполняет формующую полость, выдерживается под давлением. После окончания выдержки форма раскрывается и с помощью выталкивающего устройства изделие извлекается из формы. Оформляющая поверхность формы должна быть отполирована и иметь твердость HRC 50–52. Формы по своей конструкции подразделяются на поршневые и полупоршневые, отличающиеся друг от друга принципом уплотнения полуформ. В поршневых – сочленение или соединение матрицы и пуансона (позитивной и негативной полуформ) по краям формуемого изделия выполняются телескопически с зазором, достаточным для выхода воздуха, но не пропускающим материал. Здесь должна соблюдаться точность дозировки. Допускается избыток дозы не выше 1 %.

**Термоформование** – это получение изделий из листовых материалов путём прижимания размягчённого полуфабриката к оформляющей внутренней или внешней полости формы. Термоформование включает формование как термопластичных и термореактивных листов, так и слоистых материалов.

Термоформование принято подразделять на три основных метода: 1) вакуумное формование; 2) пневмоформование; 3) формование с помощью сопряжённых металлических форм.

**Формование с помощью сопряжённых металлических форм** подобно процессу штамповки металла и несколько напоминает прессование. Нагретый лист формуют, зажимая его между парой сопряжённых (негативной и позитивной) полуформ, называемых часто матрицей и пуансоном. Процесс используют также для переработки вспененных и слоистых материалов.

При **вакуумном формовании** обычно используют листы, которые закрепляют в раме, а затем нагревают. Когда полимер переходит в высокоэластическое состояние, его нагрев прекращают и из полости между листом и формой откачивают воздух. Атмосферное давление, действующее над листом, прижимает его к форме, на которой он охлаждается и затвердевает. Этим методом можно получать только изделия простой формы.

Вакуумное формование разделяется на негативное и позитивное. Нагрев заготовок перед формованием осуществляется инфракрасными нагревателями, реже – горячим газом или нагревательными спиралями сопротивления. При формовании тонких листов и плёнок применяют односторонний нагрев, листов с толщиной более 6 мм – двухсторонний нагрев.

Преимущества вакуумного формования:

- формование можно осуществлять в несложной легкой настольной оснастке, что важно для производства единичных и мелкосерийных изделий;
- возможна переработка листовых термопластов с высокой усадкой;
- возможно применение форм из дешёвых и лёгких материалов, например, дерева.

К недостаткам способа относятся:

- трудности при контроле температуры нагрева термопласта по приборам;
- малая производительность в связи со значительной затратой времени (70–80 %) на разогрев заготовки и охлаждение изделий непосредственно на машине.

**Пневматическое формование** аналогично вакуумформованию, но в данном случае применяют позитивное давление воздуха, прижимающее лист к форме. Поскольку используемое давление больше атмосферного, пневмоформование можно применять для трудноперерабатываемых (более жёстких) материалов и изготавливать изделия более сложной формы, чем при вакуумформовании.

**Выдувное формование** различных ёмкостей начало развиваться в начале 60-х годов прошлого века и, в основном, подразделяется на экструзионно-выдувной и инъекционно-выдувной способы.

Технологический процесс экструзионно-выдувного формования заимствован из стекольной промышленности. Вначале экструдировывают тонкостенную трубу (шланг), которую затем разрезают на отрезки определённой длины. Отрезок трубы, называемый заготовкой, помещают между частями полый раздувной формы. Форму смыкают, после чего заготовку раздувают сжатым воздухом. В результате получают полые изделия требуемой формы.

**Инжекционно-выдувное формование** представляет собой модификацию литья под давлением и заключается в инъекции расплава полимера в разъёмную форму с вставленной в неё оправкой. Так создаётся заготовка. Толщина стенок заготовки определяется зазором между оправкой и внутренней полостью гнезда формы. Затем оправку с нанесённой на неё оболочкой полимера переносят в обычную форму для выдувания изделий.

По сравнению с экструзионно-выдувным формованием инжекционно-выдувное формование почти полностью ликвидирует отходы, позволяет получать изделия повышенной прочности, с более точными размерами горловины, двухслойные с внутренним химически устойчивым слоем и наружным декоративным. Однако стоимость форм для его осуществления выше, чем для обычного литья под давлением и экструзионно-выдувного формования. На рисунке 8 представлены основные стадии получения инжекционно-выдувной машины.

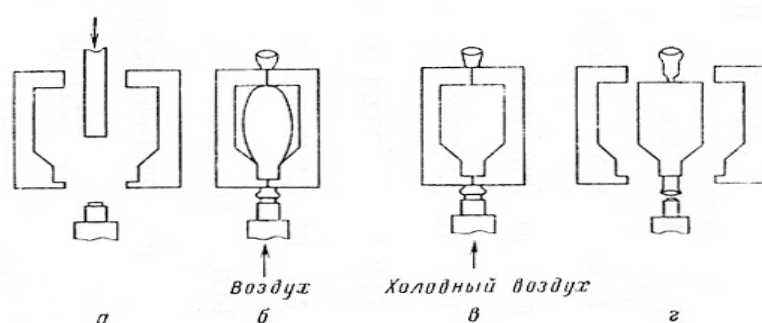


Рисунок 8 – Основные стадии получения изделий экструзионно-выдувным методом: *а* – подача заготовки; *б* – выдувание; *в* – охлаждение изделия; *г* – удаление изделия из выдувной формы

**Ротационное формование.** Впервые ротационное формование было применено в конце 40-х годов прошлого столетия для получения изделий из пластизолей. Ротационное формование заключается в спекании полимерного материала во вращающейся форме. Для пластизолей процесс называется не спеканием, а желатинизацией. Спеканием перерабатывают жидкие и порошкообразные материалы. Ротационным формованием можно перерабатывать и мономерные (олигомерные) вещества. В этом случае синтез полимера проводится непосредственно во вращающейся форме. Вращение форм может производиться как вокруг одной, так и вокруг двух взаимно перпендикулярных осей, что способствует получению изделий с равномерной толщиной стенки. Ротационным формованием изготавливаются главным образом ёмкости, резервуары и т.п. весом от нескольких грамм до 110–120 кг и толщиной стенок от 1 до 25 мм.

**Каландрование.** Каландры – это валковые машины, в которых скорость вращения сопряжённых валов одинакова. На каландрах осуществляется окончательный технологический процесс формования листа, плёнки и различных рулонных материалов (линолеум, покрытия для полов и др.) при однократном прохождении материала через зазор между несколькими валками.

Способом каландрирования перерабатываются поливинилхлорид и его сополимеры, хлорированный полиэтилен, АВС, смеси АВС с ПВХ, ударопрочный полистирол, эфиры целлюлозы, резиновые смеси и т.п. В качестве армирующих наполнителей для полимеров используют химические, минеральные и растительные волокна. К неволокнуистым наполнителям относятся сажа, песок, мел и др.

По функциональному назначению каландры для пластмасс разделяются на листовальные, промазочные и дублировочные. Каландр состоит из трёх или более нагретых валков, проходя между ними высоковязкая полимерная масса перерабатывается в плёнки или листы. Масса материала подаётся в зазор между двумя первыми валками, откуда она выходит уже в виде плёнки. Затем материал проходит вокруг остальных валков, каждый из которых выполняет определённую функцию. В обычном четырёхвалковом каландре имеется три формирующих (рабочих) зазора; первый регулирует скорость подачи материала, второй действует как дозирующее устройство. Толщину листа определяет зазор между последней парой валков. Эти валки могут быть глянцевыми, матовыми или гофрированными. Каландрование часто сравнивают с экструзией, рассматривая последнюю пару валков как фильеру с вращающимися поверхностями.

Валки – важнейшая часть каландра. Их изготавливают из стального литья с последующей закалкой.

Известно множество различных схем расположения валков в каландре; некоторые из них показаны на рисунке 9. Выбор конкретной схемы зависит от ряда факторов, например, от природы перерабатываемого материала, толщины и ширины получаемого листа, скорости процесса и т.д. Кроме того, необходимо учитывать характер дальнейшей обработки продукта, например, предполагается ли ламинирование и т.п.

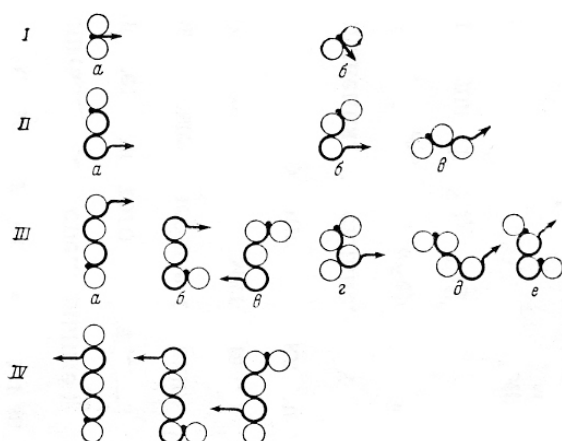


Рисунок 9 – Основные схемы расположения валков каландров



Во время работы каландра валки подвергаются действию больших нагрузок, необходимых для формирования из полимеров тонких плёнок. Эти силы вызывают изгиб валков, в результате чего толщина плёнки в средней части полотна получается больше, чем по его краям. Разнотолщинность можно уменьшить различными способами, одним из наиболее часто употребляемым является применение валков, имеющих в средней зоне больший диаметр, чем по краям.

В последнее время получает распространение сочетание двух классических процессов переработки – экструзии и каландрования. Двухвалковый каландр монтируют на выходном конце экструдера, оснащённого простой головкой для производства плоской плёнки. Такая конструкция обладает высокой производительностью, сокращает время достижения стабильного температурного режима формования, уменьшает время теплового воздействия на полимер при каландровании, что снижает термоокислительную деструкцию полимера.

**Центробежное литьё.** Этот метод имеет много общего с ротационным формованием при вращении вокруг одной оси. По этому методу изделия из слоистых пластиков цилиндрической, конической или параболической формы формируются под действием центробежных сил, возникающих при вращении вокруг продольной оси с одновременным отверждением. Внутренняя поверхность формы является наружной поверхностью изделия. Внутрь формы укладывают слои армирующего наполнителя, форму вращают с одновременной подачей смолы. После отверждения готовое изделие выталкивают из формы. Внутренняя поверхность формы должна быть отшлифована и отполирована до высоких классов чистоты. Так как при отверждении смолы выделяется значительное количество тепла, а коэффициенты термического расширения полимеров и металла, из которого изготовлена форма, различаются на порядок, выталкивание изделия из формы после охлаждения не вызывает затруднений. На рисунке 10 представлена схема центробежного литья.

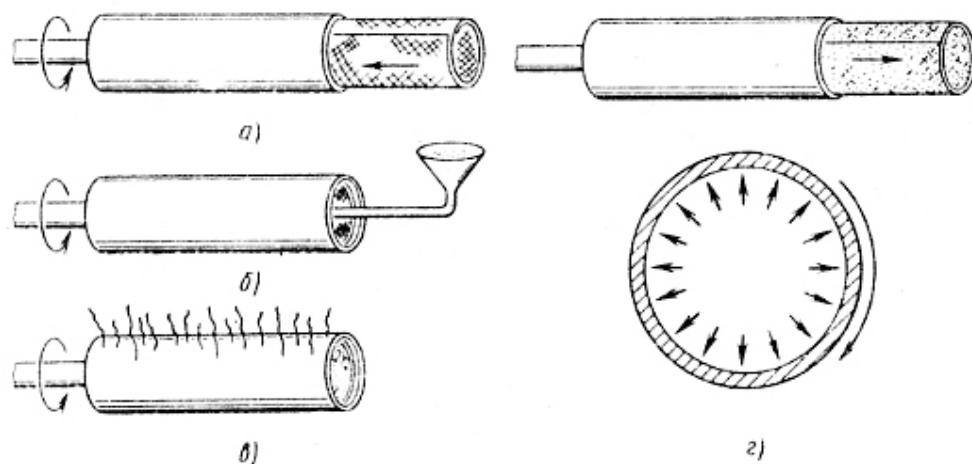


Рисунок 10 – Схема центробежного литья: а – обёртывание оправки; б – вращение; в – отверждение; г – извлечение изделия

Существуют устройства для центробежного литья, в которых по внутренней поверхности формы раскладывается непрерывное волокно (ровинг) с одновременной подачей смолы. Этим приёмом сейчас получают цилиндры длиной до 2 м и диаметром до 400 мм.

**Технология стеклянных материалов.** В технологии стекла на стадии приготовления шихты используются смесители. Это барабанные смесители, планетарные смесители и др. Конструкции печей для варки стекла и приготовления стекломассы в данном курсе не рассматриваются.

Превращение стекломассы в стеклянные изделия – формование или выработка – может осуществляться разнообразными способами. Из стекла можно изготавливать мельчайшие изделия (бисер, миниатюрные электронные лампочки, тончайшее волокно диаметром в доли мкм) и изделия больших размеров и массы (витринные стёкла площадью 15–20 м<sup>2</sup>, диски для линз телескопов диаметром несколько метров, высокие стеклянные колонны и пр.).

**Вытягивание.** Методом вытягивания получают листовое стекло. Вертикальное вытягивание осуществляют лодочным или безлодочным способом.

При формовании ленты стекла по первому способу используется лодочка – длинный прямоугольный керамический брус со сквозным продольным вырезом, переходящим в верхней части в узкую щель. Схема вытягивания стекла при помощи лодочки показана на рисунке 11. В рабочем положении лодочка 2 погружена в бассейн со стекломассой 1, охлаждённой до температуры выработки. Лодочка погружена так, что верхняя кромка щели, называемая губами лодочки, находится ниже уровня стекломассы в бассейне и на 40–50 мм ниже верхней плоскости лодочки, чтобы стекломасса не затекала через верх.

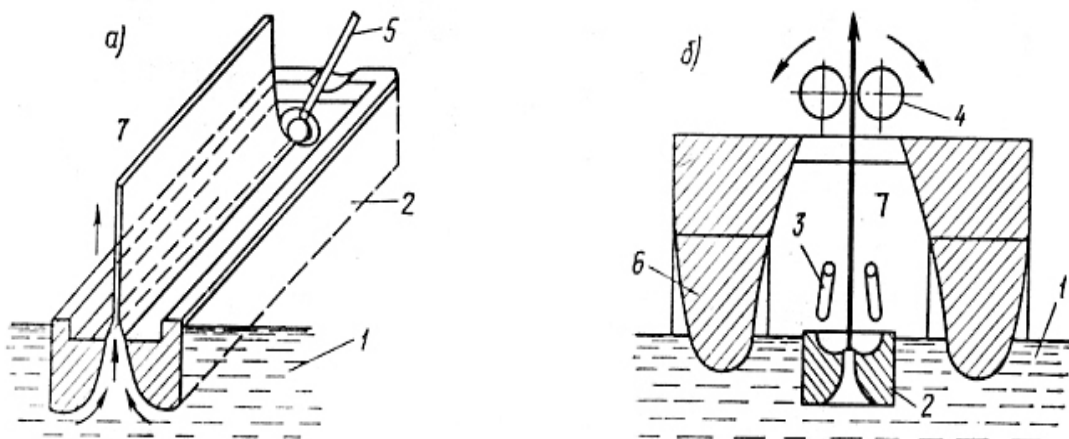


Рисунок 11 – Схема формования ленты стекла способом лодочного вертикального вытягивания: а – схема образования ленты стекла; б – схема подмашинной камеры. 1 – стекломасса; 2 – лодочка; 3 – холодильник; 4 – валики машины; 5 – бортодержатель; 6 – мост

Расплав выступает из щели под влиянием гидростатического напора, сцепляется с металлической гребёнкой – «приманкой» и оттягивается кверху с помощью валиков 4, образуя непрерывную ленту стекла. Чтобы лента стекла не сужалась по ширине при вытягивании, её края (борты) захватывают специальными приспособлениями – металлическими бортодержателями 5, а полотно ленты охлаждают с помощью холодильников 3.

По безлодочному способу лента стекла формируется со свободной поверхности стекломассы (рис. 12.).

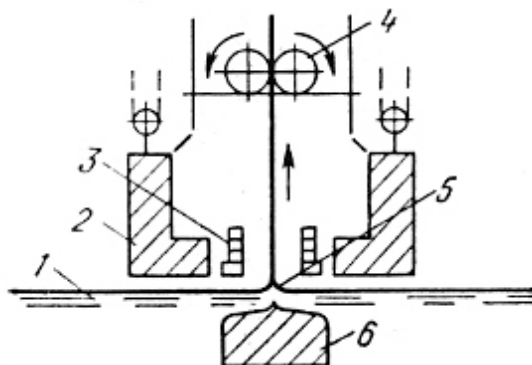


Рисунок 12 – Схема формирования ленты стекла способом безлодочного вертикального формования: 1 – стекломасса; 2 – L-блок; 3 – холодильник; 4 – валики машины; 5 – луковица; 6 – центральное погружённое тело

Необходимые для формования ленты вязкости получают путём охлаждения определённого участка зеркала стекломассы 1 между подвесными огнеупорными элементами 2 (L – блоками). В стекломассу на глубину 70–120 мм погружают огнеупорное тело 6, направленное вдоль оси машины. Его назначение – быть экраном для излучения глубинного расплава и тем самым усиливать охлаждение потоков стекломассы, движущихся с обеих сторон к луковице над его поверхностью.

Методом вытягивания формируют также стеклянные трубы. Различают горизонтальное и вертикальное вытягивание. Горизонтальным вытягиванием получают диаметром до 40 мм, а вертикальным – от 50 до 120 мм.

При горизонтальном вытягивании (рис. 13) стекломасса поступает тонкой струйкой на верхнюю часть медленно вращающегося наклонного огнеупорного мундштука (3), обволакивает его равномерным слоем и, стекая с его нижнего конца, образует трубу (7), которая подхватывается тянущей машиной (8).

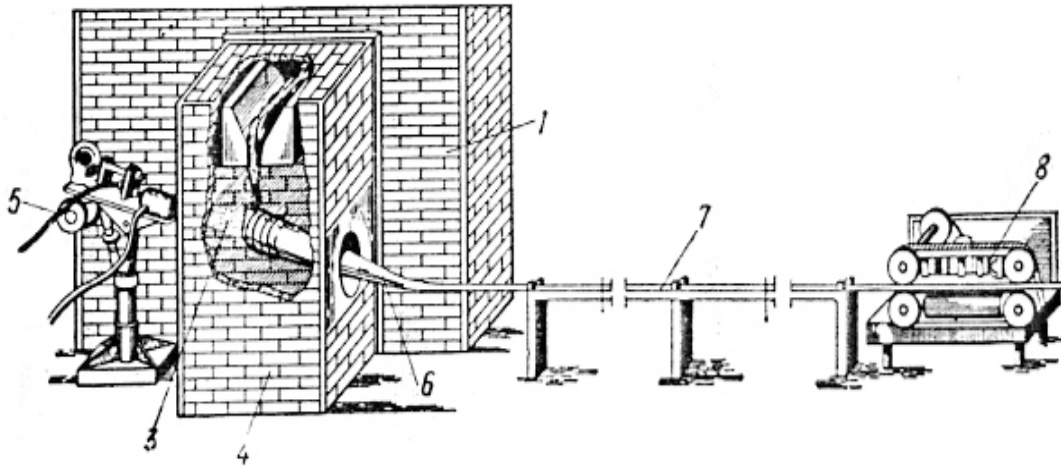


Рисунок 13 – Схема горизонтального вытягивания стеклянных труб

Деформации трубы препятствует подаваемый через отверстие мундштука сжатый воздух. Диаметр вырабатываемой трубы и толщина её стенок зависят от температуры, диаметра мундштука, угла наклона и частоты вращения мундштука, скорости вытягивания и давления воздуха, подаваемого внутрь мундштука.

При вертикальном методе (рис. 14) стекломасса поступает в рабочую камеру 1, в дне которой вмонтирован шамотный мундштук 2 со сменной насадкой 3, верхняя плоскость которой в зависимости от диаметра вырабатываемых труб находится выше или ниже уровня стекломассы. Через центр мундштука проходит металлическая труба 4, через которую подаётся сжатый воздух во внутреннюю полость трубы. В рабочей камере расположен холодильник 5, предназначенный для регулирования температуры луковицы 7. Вытягиваемую трубу 6 из рабочей камеры подают в шахту машины 10. В шахте расположены асбестовые валики 9.

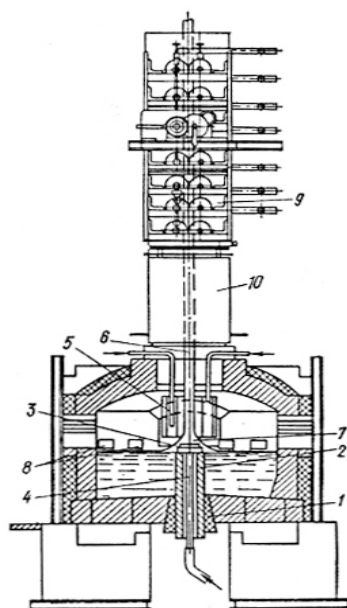


Рисунок 14 – Вертикальное вытягивание труб

Пуск машины осуществляют, как и при вытягивании стеклоленты, при помощи затравки, представляющей собой стальное кольцо с приваренными по окружности стальными зубьями.

**Прокат.** Листовое стекло можно получать также методом прокатки периодическим или непрерывным способами. При периодическом прокате порцию расплавленного стекла выливают на охлаждаемый металлический стол и прокатывают валом, катящимся по столу и разравнивающим стекло.

При непрерывном способе стекломасса поступает в промежуток между двумя цилиндрическими металлическими валками, вращающимися навстречу друг другу. Прокатываемой ленте стекла сообщается поступательное движение. Толщину стекла регулируют расстоянием между валками, а скорость проката – изменением скорости вращения валков. Кстати, нельзя не заметить аналогии между способом прокатки стекломассы и каландрованием полимерных материалов.

**Растекание (флоат-способ).** Особенность способа состоит в том, что лента стекла формируется горизонтально на поверхности расплавленного олова. Лента образуется в результате растекания под действием силы тяжести стекломассы, поступающей из ванны печи, перемещения растёкшейся стекломассы по поверхности олова в продольном направлении, её охлаждения и отвердевания. Нижняя сторона ленты получается полированной в результате контакта с идеально ровной поверхностью олова, а верхняя – за счёт последующей огневой полировки горячими газами. Способ характеризуется высокой производительностью и высоким качеством листа. (Кстати, в лабораторной практике нечто подобное используется при отливки полимерных плёнок из летучих растворителей на поверхности ртути.)

**Выдувание.** Порцию стекла можно, подобно мыльному пузырю, раздувать воздухом под давлением. При этом сначала получают заготовку (пульку, баночку), а затем из пульки формируют изделие. Стекло набирают на конец полой трубки или специальной дутьевой головки с полым керном (рис. 15), через который подаётся воздух. Изделие обычно выдувают в форму, в которой его держат до тех пор, пока оно не отвердеет, после чего его передают на отжиг.

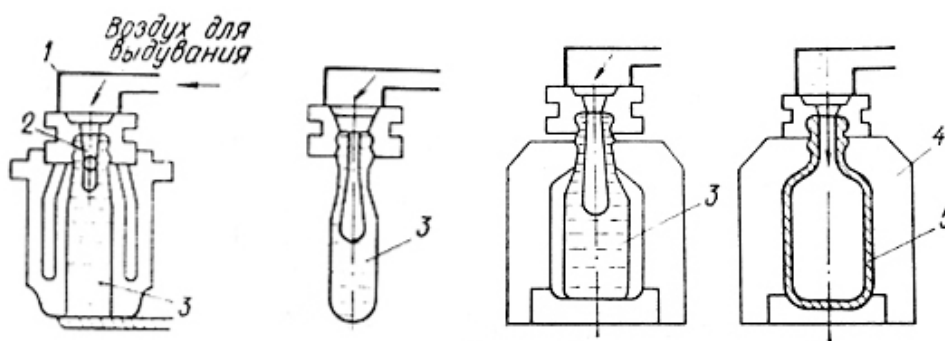


Рисунок 15 – Схема выдувания изделия в форме: 1 – дутьевая головка; 2 – kern; 3 – набор стекломассы; 4 – форма; 5 – изделие

Ручное выдувание используется при изготовлении художественных изделий, при стеклодувных работах для изготовления научных приборов и аппаратов.

**Прессование.** Стекло прессуют при помощи формы, определяющей внешнюю конфигурацию изделия, и керна (пуансона), создающего давление на стекло и оформляющего изделие изнутри (рис. 16). При прессовании поверх формы накладывают кольцо, которое задерживает стекломассу в форме и оформляют край изделия.

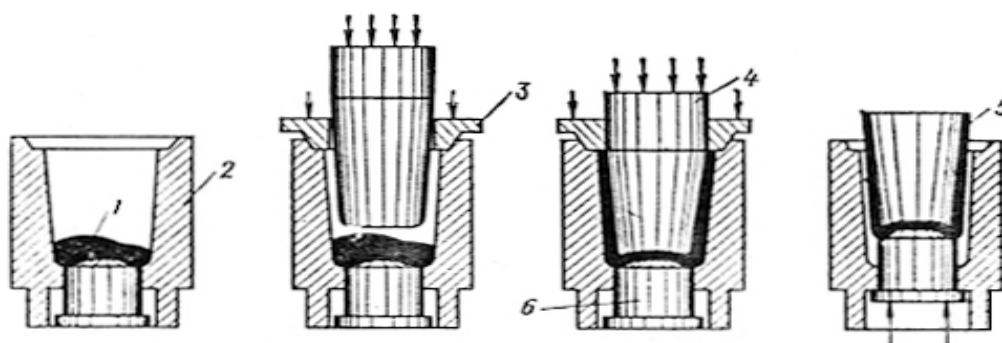


Рисунок 16 – Схема прессования изделия в форме: 1 – капля стекломассы; 2 – пресс-форма; 3 – ограничительное кольцо; 4 – керн; 5 – изделие; 6 – поддон

Прессованием вырабатывают главным образом изделия бытового назначения и изделия для строительства. Изделия сложной формы прессуют в раскрывных формах.

**Центробежное формование.** Сущность способа заключается в том, что сильно разогретую порцию стекла помещают на дно формы и вращают с большой скоростью (800–1200 об/мин). Центробежными силами стекло растекается по дну формы и поднимается по стенкам формы до верхнего края. При этом стекло плотно прижимается к стенкам и точно принимает требуемую конфигурацию. Формы центробежных машин раскрываемые.

Способ применяется для изготовления изделий крупных размеров, большой массы или значительной высоты, имеющих форму тел вращения.

**Технология керамических материалов.** В керамическом производстве зачастую изготовление материала и изделия происходит в одном технологическом цикле.

В производстве современной технической керамики в противоположность традиционной, где использовались глины и глиносодержащие материалы, наибольшее применение находят непластичные кристаллические искусственные материалы в виде порошков. Поэтому из тонкодисперсных порошков, увлажнённых водой, практически нельзя изготовить изделие, пользуясь методом пластического формования (например, на гончарном круге). Прессование изделия без специальной пластификации массы также затруднено. Водное литье в пористые (например, гипсовые) формы требует специальных мер для разжижения и стабилизации неустойчивых, как правило, водных

суспензий тонкодисперсных кристаллических тел. Однако со всеми этими способами мы здесь ознакомимся.

**Прессование на механических прессах.** Этим методом получают изделия, форма которых копирует очертания пресс-формы. Изделия обычно имеют сравнительно простую геометрическую форму с нетолстыми стенками; применяют массы с низким содержанием влаги, поэтому усадка при сушке незначительна, а сушка непродолжительна. В силу разных обстоятельств, в частности, из-за неравномерности распределения плотности по объёму отформованного изделия, этим методом изготавливают изделия с малым отношением высоты формуемого изделия к диаметру.

Для создания давления чаще всего используются гидравлические прессы, а также прессы, работающие на других принципах, – коленно-рычажные, ротационные и др. Процесс легко автоматизировать.

**Гидростатическое прессование.** Это разновидность общего метода прессования. Он основан на равномерном обжиге порошка, помещённого в резиновую эластичную форму, жидкостью (водой, маслом, глицерином и т.д.), находящейся под давлением (рис. 17).

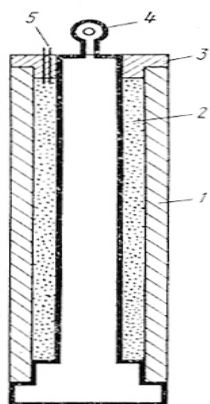


Рисунок 17 – Примерная конструкция устройства для формирования труб гидростатическим прессованием:

1 – резиновый корпус; 2 – керамический порошок; 3 – резиновая крышка; 4 – устройство для подвески; 5 – отверстие для удаления воздуха

В этом случае давление равномерно передаётся по всем направлениям, и отпрессованное изделие приобретает такую плотность, которая не может быть достигнута при направленном прессовании изделий вдоль какой-либо одной оси изделия. Метод позволяет формировать крупные изделия.

Недостатки: трудность обеспечить непрерывность процесса; трудно обеспечить точность, т.к. эластичные оболочки легко деформируются, поэтому зачастую требуется последующая механическая обработка; дороговизна установки.

**Литьё в пористые формы.** По этому методу изделие нужной формы получают из шликера – водной суспензии порошков. Процесс позволяет получать изделия сложной конфигурации с однородной высокой плотностью; пористые формы обычно изготавливают из гипса, поэтому они дешёвы. Для сложных изделий формы делают разборными.

Различают наливной и сливной метод формования. Сливным методом изделия формируют по схеме, показанной на рисунке 18.

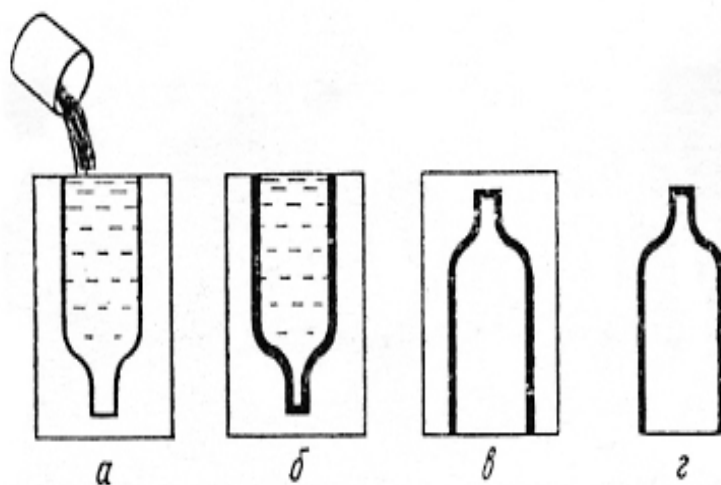


Рисунок 18 – Схема процесса формования методом литья сливным способом:  
*a* – заливка шликера; *б* – отстаивание; *в* – удаление шликера; *г* – выемка из формы

Шликером заполняют форму и ставят её на выдержку (*a*). Жидкость отсасывается формой, в результате чего на стенках формы начинают формироваться стенки изделия (*б*). Уровень жидкости в форме понижается, поэтому необходимо подливать шликер до уровня. Когда толщина стенок изделия достигает заданной, шликер сливают путём переворачивания формы и оставляют в таком положении (*в*), при этом влага из материала продолжает поглощаться пористой формой. После того как изделие даст усадку, его вынимают из формы (*г*).

Сливной способ пригоден для формования тонкостенных изделий – труб, тиглей и т.п.

Наливным способом формуют сплошные изделия, конфигурация которых точно соответствует форме, в которую заливают шликер. Обычно используют разъёмные формы. Процесс формования показан на рисунке 19.

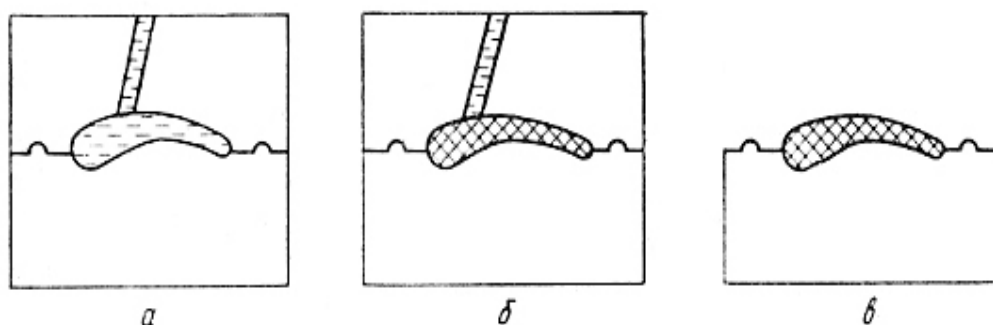


Рисунок 19 – Схема процесса отливки в твёрдую форму: *a* – заливка шликера; *б* – выдержка; *в* – выемка из формы

**Формование способом выдавливания (пластический способ).** Этот способ является не чем иным, как экструзией пластических глиняных или иных масс, например, керамических порошков с добавлением связок. Как и положено



в способе экструзии, этим способом формируют непрерывные профили – трубы, стержни и брусья, сотовые конструкции и пр.

Формующие машины подразделяются на прессы поршневого и шнекового типов. Шнеки отличаются от тех, которые используются в переработке полимеров тем, что количество витков в них значительно меньше, а диаметр больше и изготавливается он не нарезкой, а привариванием стальной ленты к валу (рис. 20).

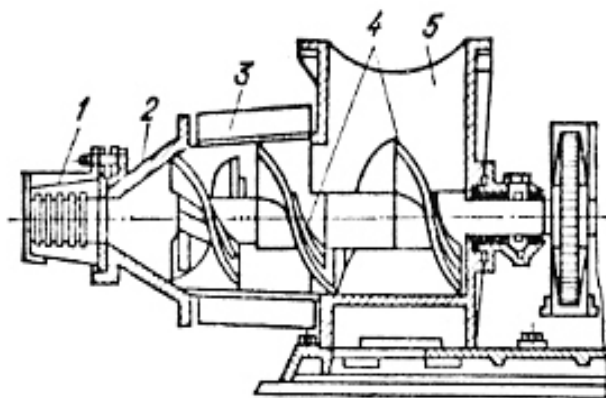


Рисунок 20 – Ленточный шнековый пресс: 1 – мундштук; 2 – головка прессы; 3 – цилиндр прессы; 4 – лопасти шнека; 5 – воронка

Понятно, что перечисленные способы формирования керамических изделий не дают готового изделия. Отформованные изделия необходимо ещё подсушить и обжечь.

## 6. ФОРМЫ ОТЧЕТНОСТИ ПО ПРАКТИКЕ

Отчет по практике является основным документом, подтверждающим прохождение практики и выполнение программы практики.

Во время прохождения практики студент ведет дневник практики, который является основанием для составления отчета по практике.

Отчет оформляется по следующей структуре: титульный лист, задание на практику, содержание, введение, основная часть, заключение, библиографический список, приложения.

### *Содержание*

Содержание содержит перечень полных заглавий всех разделов и подразделов отчёта с указанием их начальных страниц.

### *Введение*

Во введении указываются цели и задачи практики, а также перечень основных работ и заданий, выполненных в процессе прохождения практики.

### *Общая характеристика предприятия (при наличии)*

Включает краткие сведения о структуре предприятия, форме собственности, производственной базе, о разрешенных видах строительных работ.

### *Основная часть*

В этом разделе рекомендуется привести сведения об инженерных системах предприятия или стройплощадки, технологию производства работ или характеристики основных технологических процессов, результаты выполнения индивидуального задания.

### *Заключение*

Приводится мнение студента о результатах практики. Необходимо кратко перечислить новые полученные знания, достоинства и недостатки практики, предложения и пожелания по улучшению прохождения практики.

### *Библиографический список*

Литература располагается в перечне в порядке упоминания в отчете.

### *Приложения*

Приложения содержат вспомогательный материал: большие по объему таблицы, рисунки, формы документации, методики сбора исходных данных и т.д. Все приложения должны быть озаглавлены и пронумерованы.

Пояснительная записка отчета выполняется в электронном виде на белой бумаге формата А4 (210×297 мм). Объём записки должен быть 20–25 страниц текста с необходимыми схемами. Текст должен быть набран через 1,5 интервал на одной стороне листа 14-м кеглем с выравниванием по ширине листа (без переносов слов). Ширина поля должна быть с левой стороны 30 мм, с правой стороны – 15 мм, внизу и сверху – по 20 мм. Каждый раздел отчета рекомендуется начинать с новой страницы. Нумерация страниц должна быть сквозной. На титульных листах номера страницы не ставится (Приложение 1, 2). Страницы отчета нумеруются последовательно, начиная с пятой, где будет раздел СОДЕРЖАНИЕ. На схемы, рисунки и таблицы, которые приведены в отчёте, необходимо делать ссылки. При ссылке на таблицу указывают ее номер (например: табл. 4.1), где 4 – номер раздела, а 1 – номер таблицы в разделе. Схемы и рисунки выполняются с соблюдением правил технического черчения и ГОСТа. Для рисунков используется сквозная нумерация.

Заголовки выполняются буквами полужирного начертания. После заголовка точка не ставится. Каждый абзац начинается с красной строки (отступ 1,25 см). Интервал между абзацами 0.

Категорически запрещается переписывать в отчет дословные тексты из проектов предприятий. На титульном листе отчета должны быть дата проверки руководителем практики от предприятия (главным инженером), его подпись и печать предприятия.

Оформленный отчет по практике представляется руководителю практики.

## **7. ФОРМЫ, ПОРЯДОК АТТЕСТАЦИИ И КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ПО ПРАКТИКЕ**

Результаты промежуточной аттестации всех видов и типов практик определяются на основании отчета обучающихся о прохождении практики, дневника практики обучающихся, защиты отчета.

Отчет по практике должен соответствовать СТО СМК 4.2.3.05 «Оформление выпускных квалификационных и курсовых работ (проектов)». Руководитель практики проверяет соответствие оформления отчета требованиям нормоконтроля. При отсутствии замечаний отчет допускается к защите. Выявленные замечания студент должен устранить в установленные сроки и снова сдать работу на проверку. Если работа не соответствует требованиям, то она к защите не допускается. Студенту назначается дополнительное время для выполнения и подготовки отчета к защите при согласовании с деканатом.

Студент готовит доклад по теме отчета с оформлением табличного или графического материала, и представляет его в виде презентации. На представление доклада отводится не более 10 минут. После доклада студент дает ответы на вопросы.

Результаты промежуточной аттестации всех видов и типов практик определяются на основании отчета обучающихся о прохождении практики, дневника практики обучающихся, защиты отчета. Формой промежуточной аттестации всех видов и типов практик является зачет с оценкой («отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно»). Оценка по практике проставляется в ведомости и в зачетной книжке. Отчет хранится в архиве кафедры в течение пяти лет. Обучающиеся, не прошедшие практику по неуважительной причине, или получившие оценку «неудовлетворительно» при промежуточной аттестации результатов прохождения практики, считаются имеющими академическую задолженность.

Оценка «отлично» – сроки прохождения практики соблюдены полностью, отчетные материалы полностью соответствуют программе практики; индивидуальное задание выполнено полностью и на высоком уровне; получен положительный отзыв от предприятия; отчет оформлен в соответствии с требованиями; изложение полученных знаний в устной, письменной или графической форме полное, в системе; допускаются единичные несущественные ошибки, самостоятельно исправляемые студентами; выделение существенных признаков изученного с помощью операций анализа и синтеза; выявление причинно-следственных связей; формулировка выводов и обобщений; свободное оперирование известными фактами и сведениями с использованием сведений из других дисциплин; ответы на вопросы полные, исчерпывающие, демонстрирующие глубокое понимание предмета.

Оценка «хорошо» – сроки прохождения практики соблюдены полностью, отчетные материалы в целом соответствуют программе практики, содержат стандартные выводы и рекомендации; индивидуальное задание выполнено с

несущественными ошибками; получен положительный отзыв от предприятия; отчет оформлен в соответствии с требованиями; изложение полученных знаний в устной, письменной и графической форме полное, в системе; допускаются отдельные несущественные ошибки, исправляемые студентом после указания преподавателя на них; выделение существенных признаков изученного с помощью операций анализа и синтеза; выявления причинно-следственных связей; формулировка выводов и обобщений, в которых могут быть отдельные несущественные ошибки; подтверждение изученного известными фактами и сведениями; ответы на вопросы полные; подход к материалу ответственный, но стандартный.

Оценка «удовлетворительно» – сроки прохождения практики соблюдены полностью, отчетные материалы в целом соответствуют программе практики, собственные выводы и рекомендации отсутствуют; индивидуальное задание выполнено с существенными ошибками; получен удовлетворительный отзыв от предприятия; отчет оформлен с многочисленными несущественными ошибками; изложение полученных знаний неполное, однако, это не препятствует усвоению последующего материала; допускаются отдельные существенные ошибки, исправленные с помощью преподавателя; затруднения при выявлении существенных признаков изученного, причинно-следственных связей и формулировке выводов; ответы на вопросы с ошибками; демонстрируется понимание материала в целом без углубления в детали.

Оценка «неудовлетворительно» – обучающийся нарушал сроки прохождения практики; отчетные материалы частично не соответствуют программе практики, собственные выводы и рекомендации отсутствуют; индивидуальное задание не выполнено; получен неудовлетворительный отзыв от предприятия; оформление отчета не соответствует требованиям; изложение учебного материала неполное, бессистемное, что препятствует усвоению последующей учебной информации; имеются существенные ошибки, неисправляемые даже с помощью преподавателя; бессистемное выделение случайных признаков изученного; неумение производить простейшие операции анализа и синтеза; делать обобщения, выводы; студент не способен ответить на вопросы, допускает многочисленные грубые ошибки.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бруяко, М. Г. Химия и технология полимеров [Электронный ресурс]: учебное пособие / М. Г. Бруяко, Л. С. Григорьева, А. М. Орлова; Московский государственный строительный университет. – М.: МГСУ, 2016. – ISBN 978-5-7264-1223-8. – Текст: непосредственный.
2. Ким, В. С. Оборудование заводов пластмасс: учебное пособие / Ким В. С., Шерышев М. А. – М.: КолосС, 2013. – 588 с. – ISBN 978-5-9532-0627-3. – Текст: непосредственный.
3. Егорова, Е. И. Основы технологии полистирольных пластиков / Егорова Е. И., Коптенармусов В. Б. – СПб: ХИМИЗДАТ, 2017. – 272 с. – ISBN 978-5-93808-306-6. – Текст: непосредственный.
4. Технология переработки полимеров. Физические и химические процессы: учебное пособие для вузов / М. Л. Кербер и др.; под редакцией М. Л. Кербера. – 2-е изд., испр. и доп. — М.: Издательство Юрайт, 2023. – 316 с. – ISBN 978-5-534-04915-2. – Текст: непосредственный.
5. Ким, В. С. Теория и практика экструзии полимеров / В. С. Ким. – М.: КолосС, 2005. – с. 286. – ISBN 5-9532-0231-8. – Текст: непосредственный.
6. Шерышев, М.А. Технология переработки полимеров: изделия из полимерных листов и пленок: учебное пособие для вузов / М. А. Шерышев. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Юрайт, 2020. – 644 с. – ISBN 978-5-534-11706-6. – Текст: непосредственный.
7. Роговин, З. А Основы химии и технологии химических волокон. Т. 2. / З. А. Роговин. – Изд. 4-е, перераб. и доп. – М.: Химия, 1974. – 344 с. – Текст: непосредственный.
8. Перепелкин, К. Е. Армирующие волокна и волокнистые полимерные композиты / К. Е. Перепелкин. – СПб.: НОТ, 2009. – 379 с. – ISBN 978-5-91703-009-8 – Текст: непосредственный.
9. Крыжановский, В. К. Технология полимерных материалов / В. К. Крыжановский, А. Ф. Николаев, В. В. Бурлов; под ред. В. К. Крыжановского. – СПб.: Профессия, 2008. – 536 с. – ISBN 978-5-93913-152-0 – Текст: непосредственный.
10. Уайт, Дж. Полиэтилен, полипропилен и другие полиолефины / Дж. Уайт, Д. Чой. – СПб.: Профессия, 2007. – 250 с. – ISBN: 5-93913-105-0. – Текст: непосредственный.



## Совместный рабочий график (план) проведения практики и индивидуальное задание

Вид практики \_\_\_\_\_

Тип практики \_\_\_\_\_

Обучающийся \_\_\_\_\_  
(Ф.И.О.)

Институт \_\_\_\_\_ технологии  
(наименование института)

Курс \_\_\_\_\_ Учебная группа \_\_\_\_\_ Форма обучения \_\_\_\_\_ очная

Направление подготовки (специальность) \_\_\_\_\_ 18.03.01 Химическая технология  
Технология и переработка полимеров

Сроки прохождения практики с \_\_\_\_\_ по \_\_\_\_\_  
(по календарному учебному графику)

Место прохождения практики ВШТЭ СПбГУПТД  
(полное наименование организации)

Должность обучающегося на практике (при наличии) \_\_\_\_\_

### Совместный рабочий график (план) проведения практики

Дата	Содержание выполняемых работ и заданий
	Общие (типовые вопросы, изучаемые в ходе практики)
	Индивидуальное задание

**Требования по выполнению и оформлению индивидуального задания** Выполнение и оформление индивидуального задания должны соответствовать учебно-методическому пособию «Организация учебной (технологической (проектно-технологической)) практики студентов на кафедре физической и коллоидной химии», А. И. Смирнова, Е. Ю. Демьянцева, И. И. Осовская, 2024 г. Индивидуальное задание выполняется в виде раздела общего отчета.

### Вид (ы) отчетных материалов по практике и требования к их оформлению в соответствии с индивидуальным заданием

Отчет должен соответствовать пунктам плана задания на практику. Оформление отчета должно соответствовать быть выполнено согласно указанному учебно-методическому пособию. Первая страница отчета – титул (не нумеруется), вторая – задание (не нумеруется), отзыв по практике руководителя (не нумеруется), нумерация начинается с пятой страницы. В работе должен быть представлен обзор литературы по теме индивидуального задания.

Руководитель практики  
от СПбГУПТД

\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_  
(подпись, ф.и.о.)

Принял к исполнению

\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_  
(подпись, ф.и.о. обучающегося)

Дата получения обучающимся индивидуального задания \_\_\_\_\_



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна»

## Отзыв о практике

в ВШТЭ СПбГУПТД  
(полное наименование профильной организации)

Обучающийся \_\_\_\_\_  
(Ф.И.О.)

Институт \_\_\_\_\_ технологии \_\_\_\_\_  
(наименование института)

Курс \_\_\_\_\_ Учебная группа \_\_\_\_\_ Форма обучения \_\_\_\_\_ очная

Направление подготовки (специальность) \_\_\_\_\_ 18.03.01 Химическая технология \_\_\_\_\_  
(код и наименование направления (специальности))

Профиль подготовки (специализация) \_\_\_\_\_ Технология и переработка полимеров \_\_\_\_\_  
(наименование профиля по учебному плану)

проходил (а) \_\_\_\_\_  
(вид и тип практики)

с \_\_\_\_\_ по \_\_\_\_\_

Инструктаж по ознакомлению с требованиями охраны труда, техники безопасности, пожарной безопасности, а также правилами внутреннего распорядка проведен в установленном порядке.

- компетенции, предусмотренные программой практики сформированы  
указать - сформированы или не сформированы

- личные и деловые качества

- качество отчета по практике

- рекомендации

- оценка

Руководитель практики от СПбГУПТД \_\_\_\_\_

**Титульные листы (для студентов, проходящих практику в сторонних организациях)**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна»

**Институт  
Технологии**

Кафедра: Физической и коллоидной химии  
 Направление подготовки: 18.03.01 Химическая технология  
 (специальность)  
 Профиль подготовки: Технология и переработка полимеров  
 (специализация)

**ОТЧЕТ**

о прохождении \_\_\_\_\_  
*(наименование вида практики)*  
 тип практики: \_\_\_\_\_  
*(наименование типа практики)*

Руководитель от _____:	_____	_____
	<i>(должность, Ф.И.О., печать организации)</i>	<i>(подпись, печать)</i>
Руководитель от СПбГУПТД:	_____	_____
	<i>(должность, ученая степень / звание, Ф.И.О.)</i>	<i>(подпись)</i>
Обучающийся:	_____	_____
	<i>(Ф.И.О.)</i>	<i>(подпись)</i>
Курс _____	Учебная группа: _____	

Санкт-Петербург  
2024

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна»

### Совместный рабочий график (план) проведения практики и индивидуальное задание

Вид практики \_\_\_\_\_

Тип практики \_\_\_\_\_

Обучающийся \_\_\_\_\_  
(Ф.И.О.)

Институт \_\_\_\_\_ технологии  
(наименование института)

Курс \_\_\_\_\_ Учебная группа \_\_\_\_\_ Форма обучения \_\_\_\_\_ очная

Направление подготовки (специальность) \_\_\_\_\_ 18.03.01 Химическая технология  
Технология и переработка полимеров

Сроки прохождения практики с \_\_\_\_\_ по \_\_\_\_\_  
(по календарному учебному графику)

Место прохождения практики \_\_\_\_\_  
(полное наименование организации)

Должность обучающегося на практике (при наличии) \_\_\_\_\_ -

#### Совместный рабочий график (план) проведения практики

Дата	Содержание выполняемых работ и заданий
Общие (типовые вопросы, изучаемые в ходе практики)	
Индивидуальное задание	

**Требования по выполнению и оформлению индивидуального задания** Выполнение и оформление индивидуального задания должны соответствовать учебно-методическому пособию «Организация учебной (технологической (проектно-технологической)) практики студентов на кафедре физической и коллоидной химии», А. И. Смирнова, Е. Ю. Демьянцева, И. И. Осовская, 2024 г. Индивидуальное задание выполняется в виде раздела общего отчета.

#### Вид (ы) отчетных материалов по практике и требования к их оформлению в соответствии с индивидуальным заданием

Отчет должен соответствовать пунктам плана задания на практику. Оформление отчета должно соответствовать быть выполнено согласно указанному учебно-методическому пособию. Первая страница отчета – титул (не нумеруется), вторая – задание (не нумеруется), отзыв по практике руководителя (не нумеруется), нумерация начинается с пятой страницы. В работе должен быть представлен обзор литературы по теме индивидуального задания.

Руководитель практики

от \_\_\_\_\_  
(наименование предприятия)

\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_  
(подпись, ф.и.о, печать.)

Руководитель практики

от СПбГУПТД

\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_  
(подпись, ф.и.о.)

Принял к исполнению

\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_  
(подпись, ф.и.о. обучающегося)

Дата получения обучающимся индивидуального задания \_\_\_\_\_

## Отзыв о практике

В \_\_\_\_\_  
(полное наименование профильной организации)

Обучающийся \_\_\_\_\_  
(Ф.И.О.)

Институт \_\_\_\_\_ технологии \_\_\_\_\_  
(наименование института)

Курс \_\_\_\_\_ Учебная группа \_\_\_\_\_ Форма обучения \_\_\_\_\_ очная \_\_\_\_\_

Направление подготовки (специальность) \_\_\_\_\_ 18.03.01 Химическая технология \_\_\_\_\_  
(код и наименование направления (специальности))

Профиль подготовки (специализация) \_\_\_\_\_ Технология и переработка полимеров \_\_\_\_\_  
(наименование профиля по учебному плану)

проходил (а) \_\_\_\_\_  
(вид и тип практики)

с \_\_\_\_\_ по \_\_\_\_\_

Инструктаж по ознакомлению с требованиями охраны труда, техники безопасности, пожарной безопасности, а также правилами внутреннего распорядка проведен в установленном порядке.

- компетенции, предусмотренные программой практики \_\_\_\_\_ сформированы \_\_\_\_\_  
указать - сформированы или не сформированы
- личные и деловые качества
- качество отчета по практике
- рекомендации
- оценка

Руководитель практики

(реквизиты приказа по Организации о назначении руководителя практики) \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(должность, подпись, Ф.И.О. полностью)

М.П.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна»

## Отзыв о практике

в ВШТЭ СПбГУПТД  
(полное наименование профильной организации)

Обучающийся \_\_\_\_\_  
(Ф.И.О.)

Институт \_\_\_\_\_ технологии \_\_\_\_\_  
(наименование института)

Курс \_\_\_\_\_ Учебная группа \_\_\_\_\_ Форма обучения \_\_\_\_\_ очная

Направление подготовки (специальность) \_\_\_\_\_ 18.03.01 Химическая технология \_\_\_\_\_  
(код и наименование направления (специальности))

Профиль подготовки (специализация) \_\_\_\_\_ Технология и переработка полимеров \_\_\_\_\_  
(наименование профиля по учебному плану)

проходил (а) \_\_\_\_\_  
(вид и тип практики)

с \_\_\_\_\_ по \_\_\_\_\_

Инструктаж по ознакомлению с требованиями охраны труда, техники безопасности, пожарной безопасности, а также правилами внутреннего распорядка проведен в установленном порядке.

- компетенции, предусмотренные программой практики сформированы  
указать - сформированы или не сформированы
- личные и деловые качества
- качество отчета по практике
- рекомендации
- оценка

Руководитель практики от СПбГУПТД \_\_\_\_\_

Журнал регистрации инструктажа по охране труда

(полное наименование профильной организации или структурного подразделения СПбГУПТД)

Дата	ФИО инструктируемого	Год рождения	Профессия, должность инструктируемого	Вид инструктажа (вводный, первичный на рабочем месте, повторный, внеплановый)	Причина проведения внепланового инструктажа	ФИО, должность инструктирующего	Подпись	
							инструктирующего	инструктируемого
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Журнал регистрации инструктажа по пожарной безопасности

(полное наименование профильной организации или структурного подразделения СПбГУПТД)

Дата	ФИО инструктируемого	Год рождения	Профессия, должность Инструктируемого	Вид инструктажа (вводный, первичный на рабочем месте, повторный, внеплановый)	Название или номер инструкции	ФИО, должность инструктирующего	Подпись	
							инструктирующего	инструктируемого
1	2	3	4	5	6	7	8	9



Лист ознакомления с правилами внутреннего трудового распорядка

---

(полное наименование профильной организации / СПбГУПТД)

N п/п	Фамилия, имя, отчество обучающегося	Дата ознакомления	Подпись

**Пример отчета****СОДЕРЖАНИЕ**

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1. СТЕКЛОПЛАСТИК. ПОНЯТИЕ, ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ.....	7
1.2. Технологии производства стеклопластика.....	9
1.2.1. Схема производства.....	9
1.2.2. Формование напылением .....	11
1.2.3. Формование с помощью эластичной диафрагмы.....	13
1.2.4. Метод прессования .....	15
1.2.5. Метод пропитки под давлением в замкнутой форме.....	18
1.2.6. Метод протяжки.....	19
2. УГЛЕПЛАСТИК .....	20
2.1. Понятие, основные свойства и применение .....	21
2.2. Методы производства углепластиков .....	23
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	26
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	27

## **ВВЕДЕНИЕ**

В ходе прохождения учебной практики были проведены экскурсии по следующим заводам:

АО «Бумажная Фабрика «Коммунар» – известный в России и за рубежом производитель упаковочных и технических видов бумаг и картона плотностью от 25 до 175 г/м<sup>2</sup>, широко применяющихся в кондитерской, медицинской, пищевой, металлообрабатывающей, полиграфической и других отраслях промышленности. Особое внимание на предприятии уделяется улучшению качества выпускаемой продукции.

Производственная компания «Элерон Полиформ» предоставляет клиентам полный перечень услуг в области производства изделий из пластмасс. Свою деятельность предприятие начало в 1995 году и в короткий срок стало одним из крупнейших производителей изделий из пластмасс на территории России. Компания сотрудничает с такими компаниями, как SCANIA, GM, BOSCH, SIEMENS, MAGNA, JOHNSON CONTROLS, SKODA, ЦНИИ КРЫЛОВА, ВАГОНМАШ, ЛОМО, НИИТ. Предприятие в отличие от большинства существующих в России использует практически все технологии изготовления изделий из пластмасс.

Компания «Балтика» – ведущая пивоваренная компания России, один из крупнейших в стране производителей товаров народного потребления. «Балтике» принадлежат 8 заводов в России, широкий портфель брендов. Компания является значительной частью Carlsberg Group и ее региона Восточная Европа. «Балтика» – ведущий экспортер российского пива. Благодаря высокому качеству бренды компании являются обладателями более 700 российских и международных наград профессиональных и потребительских конкурсов.

Цель: Изучить производство изделий из стеклопластика, углепластика на ООО «Элерон Полиформ».

Задачи:

- Изучить, что из себя представляет стеклопластик и углепластик.
- Рассмотреть методы производства изделий из стеклопластика.
- Рассмотреть методы производства изделий из углепластика.

### **1. СТЕКЛОПЛАСТИК. ПОНЯТИЕ, ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ**

Стеклопластик – это вид композиционных материалов, или же пластические материалы, состоящие из стекловолокнистого наполнителя (рис.1) и связующего вещества.

Благодаря высоким механическим свойствам, малому удельному весу и высокой теплостойкости стеклопластик является перспективным материалом и широко используется в различных отраслях машиностроения. Стеклопластики обладают очень низкой теплопроводностью, прочностью как у стали, биологической стойкостью, а также атмосферостойкостью. Подвержен влагонасыщению, водонасыщению и истираемости [1].

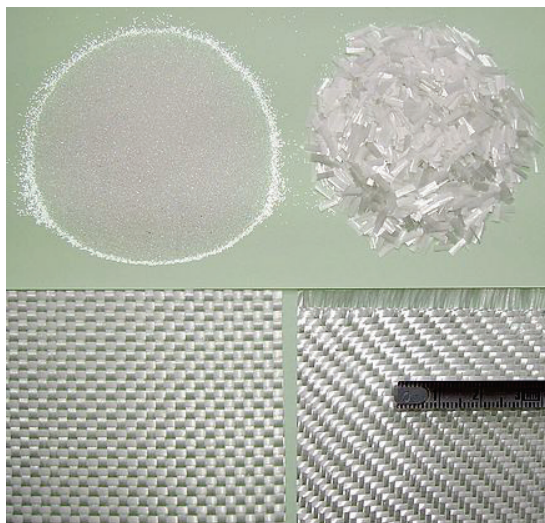


Рисунок 1 – Стекловолокно

Стеклопластики уступают стали по абсолютным значениям предела прочности, но в 3,5 раза легче её и превосходят сталь по удельной прочности. При изготовлении равнопрочных конструкций из стали и стеклопластика, стеклопластиковая конструкция будет в несколько раз легче. Коэффициент линейного расширения стеклокомпозита близок к стеклу, что делает его наиболее подходящим материалом для светопрозрачных конструкций. Плотность стеклопластика, полученного путём прессования или намотки, составляет 1,8–2,0 г/см<sup>3</sup>.

До недавнего времени стеклопластики использовались преимущественно в самолётостроении, кораблестроении и космической технике. Широкое применение сдерживалось, в основном из-за отсутствия промышленной технологии, которая позволила бы наладить массовый выпуск профилей сложной конфигурации с требуемой точностью размеров. Эта задача была успешно решена с созданием пултрузионной технологии. Существует достаточно много методов, позволяющих массово производить стеклопластиковые изделия различной конфигурации [2].

Стеклопластики являются одними из самых доступных и недорогих композиционных материалов. Стеклопластик окрашивается, декорируется, покрывается плёнками ПВХ и натурального шпона, прекрасно поддаётся всем видам механической обработки. Стеклопластик можно производить любой формы, цвета и толщины. Стеклопластик имеет удовлетворительную атмосферостойкость, при условии наличия защитного покрытия, однако плохо

переносит абразивный износ, он достаточно хрупок и с годами может деформироваться.

Материал подходит для изготовления следующих элементов:

Крыло из стеклопластика. На него приходится огромная нагрузка при боковых ударах.

Капот. Критические деформации капота характерны для лобовых ударов.

Бампер из пластика. Это крайне важная деталь, способная уберечь от серьезных повреждений более дорогие элементы, сохранить геометрию кузова при ударах.

Спойлеры. Спойлер – элемент аэродинамического обвеса, на высоких скоростях антикрыло прижимает заднюю часть транспортного средства к асфальту, повышает механическое сцепление, препятствует проскальзыванию колес, позволяет полностью реализовать потенциал силовой установки, повышает общий уровень безопасности вождения.

Двери из стеклопластика. Для дверей наиболее опасны боковые удары, причем необходимость замены порой возникает даже после не самого сильного воздействия. Конструкция предусматривает наличие ребер жесткости, так что конструкция окажется устойчивой как к продольным, так и к поперечным нагрузкам [1].

Композитные элементы подходят для всех транспортных средств, вне зависимости от назначения.

Средний эксплуатационный период – 20 лет, однако он не является пределом. По сути, запчасти вечные, что объясняется возможностью восстановления. Принципы ремонта идентичны производству, внешний вид, конфигурация элемента восстанавливаются на 100 %, так что следов восстановления нет, он выглядит как новый. Если своевременно обращать внимание на повреждения, не игнорировать их, восстанавливать целостность, то деталь прослужит полвека и даже больше [1].

Преимущества:

- 100 % стойкости к коррозии, что гарантирует длительность службы вне зависимости от условий использования и хранения;

- композит химически инертен, не взаимодействует со щелочами и кислотами, для мытья можно использовать любые вещества, в том числе агрессивные;

- прочность, способность выдержать даже интенсивные ударные, вибрационные воздействия;

- легкость восстановления, небольшие повреждения и даже значительные дефекты удастся нивелировать в короткий срок с минимальными вложениями средств. Результативность ремонта – 100 %, полностью восстанавливается первоначальная форма, внешний вид;

- легкость, монтировать деталь очень легко. Минимальная масса также улучшает динамические характеристики транспортного средства, снижает топливный расход [2].

## 1.2. Технологии производства стеклопластика

### 1.2.1. Схема производства

Стеклопластик – максимально податливый материал, детали на его основе могут иметь конфигурацию без ущерба для прочности, жесткости, долговечности. Допустимо формирование сложных изгибов, выпуклостей, углов. Он регулярно применяется при реставрации классических авто, для которых характерно обилие плавных обтекаемых аэродинамических элементов, различного декора. Пример готовой продукции – запчасти Мерседес Спринтер стеклопластик [3].

Изготовление ведется по следующей схеме:

1. Формируется каркас, обеспечивающий возможность строго соблюдения необходимой геометрию, конфигурацию, габариты конструкции. Каркас, как правило, фанерный или на основе недорогой ДСП.
2. Подготовка макета модели, образца для матрицы. Матрица, в свою очередь, станет базой для готовой детали.
3. Формирование матрицы, механическая обработка, удаление неровностей для того, чтобы добиться оптимальной конфигурации.
4. Закладка стеклоткани в матрицу, обеспечение максимально плотного прилегания, чтобы материал повторял все изгибы, соответствовал нюансам конфигурации.
5. Заливка полимерного компонента, прессование.
6. Выжидание времени, необходимого для набора прочности. Только после того, как все компоненты затвердели, допустим разбор конструкции. Как правило, готовый элемент на 100 % готов для установки на автомобиль, за исключением ситуаций предварительного декорирования.

### 1.2.2. Формование напылением

Изготовление стеклопластика напылением состоит в следующем: на подготовленную определённым способом матрицу наносится защитно-декоративный слой – гелькоут. Гелькоут формирует наружную поверхность будущего изделия из стеклопластика. После высыхания гелькоута происходит изготовление стеклопластика. Последний этап – прикатка еще не отвержденного стеклопластика жестким валиком для удаления пузырьков воздуха из него. После отверждения стеклопластика, готовое изделие из стеклопластика извлекается из формы и подвергается механообработке [4].

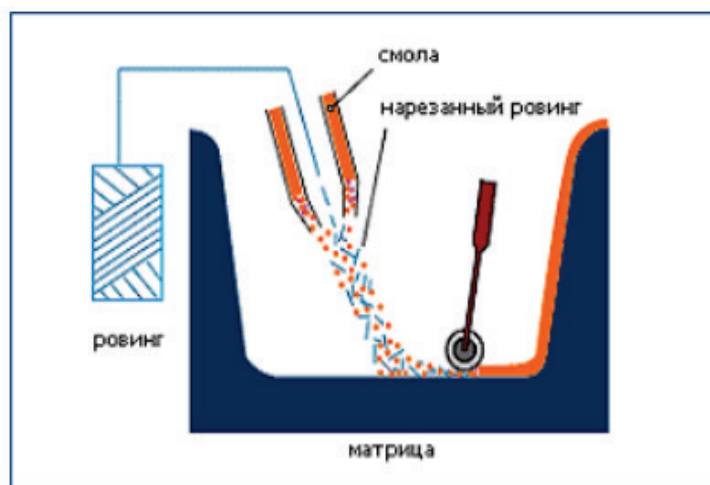


Рисунок 2 – Метод напыления

Метод напыления заключается в одновременном напылении на поверхность формы рубленого волокна и связующего (рис. 2) и позволяет обеспечить получение стеклопластика с довольно высокой производительностью процесса при сравнительно невысокой стоимости изделий в сравнении с другими методами изготовления изделий из стеклопластиков. Производство стеклопластика методом напыления имеет особенно важное значение, когда к получаемому материалу выставляется требование одинаково высоких значений физико-механических свойств во всех направлениях [5].

Производство стеклопластика включает в себя тщательную подготовку формы. Хорошо подготовленная форма – ключ к получению высококачественных продуктов. Форма должна быть вычищена и с нее нужно тщательно удалить пыль. Нанесите разделительный воск и отполируйте форму. Нанесение разделительного слоя делается в несколько слоев, давая подсохнуть предыдущему слою в течение 10–15 минут. После этого мягкой неворсистой тряпкой аккуратными движениями произвести полировку антиадгезионного слоя. При производстве стеклопластика следует помнить, что все изъяны на антиадгезионном слое будут видны на гелкоуте. В новой форме необходимо использовать разделительную пленку для улучшения расформовки. Также можно предусмотреть и другие варианты расформовки, например, с помощью воздуха или места для вбивания клиньев и др. [4]. В помещении, где готовятся и хранятся литейные формы, не следует проводить никакой пыльной работы.

Гелькоут представляет собой покрытие на основе ненасыщенного полиэфира, которое обеспечивает армированным пластиковым изделиям блеск, надежную защиту от внешнего воздействия, долговечность поверхности и необходимый цвет. Правильное нанесение гелькоута является ключевым фактором получения в итоге привлекательного и высококачественного продукта.

Гелькоут может наноситься кистью или распылением. Последние усовершенствования технологий изготовления гелькоута и оборудования для

распыления привели к заметному росту использования распылительных методов нанесения. Независимо от способа нанесения рекомендуется использовать гелькоуты, специально предназначенные для конкретного метода [5].

Как только гелькоут в достаточной степени отвердился, следующим шагом процесса контактного формования является нанесение ламинатной основы. Простым тестом на определение степени отверждения гелькоута является легкое прикосновение чистым пальцем к его поверхности. Если поверхность на ощупь немного липкая, но палец остается чистым, то это значит, что гелькоут готов к ламинированию, к которому необходимо приступить в течение пяти часов.

### **1.2.3. Формование с помощью эластичной диафрагмы**

Наиболее простым по аппаратно-технологическому оформлению является метод контактного формования изделий из стеклопластиков, применяемый при изготовлении крупногабаритных изделий сложной конфигурации. При контактном формовании происходит одновременно формование макроструктуры стекловолоконного наполнителя в изделии и пропитка стеклонаполнителя связующим. По этому методу при послойной укладке стекловолоконного наполнителя на поверхность формы производится пропитка наполнителя связующим с помощью кисти или распылительного пистолета. После этого для удаления воздуха и уплотнения материала формируемое изделие прикатывают рифлёным валиком. Недостатком технологии по методу контактного формования являются большие трудности регулирования содержания наполнителя в материале изделия [5].

К формованию с малым давлением относится производство стеклопластика на основе метода формования с использованием уплотнения с помощью эластичной диафрагмы, который является фактически модификацией метода контактного формования при изготовлении изделий из стеклопластиков.

Изготовление стеклопластика с помощью эластичной диафрагмы заключается в уплотнении поверхности формируемого изделия через эластичную диафрагму с помощью сжатого воздуха или под вакуумом. В результате можно получать изделия различного назначения, включая трубы, оболочки и т.д. [4]. По сравнению с методом контактного формования, здесь обеспечивается более высокое качество поверхности изделия и более высокая точность изготавливаемых изделий. К недостаткам метода формования с помощью эластичной диафрагмы относятся высокая стоимость применяемого оборудования и повышенная сложность технологического процесса.

При изготовлении стеклопластиков по этому способу используется специальное оборудование, учитывающее технологические свойства



стеклонаполнителя и связующего, форму и размеры изделий, специфику метода формования с помощью эластичной диафрагмы.

### 1.2.4. Метод прессования

Основной технологический процесс (прессование) характеризуется формованием закрытого типа, когда обе поверхности изделия формируются жесткими элементами формы. Отличительной особенностью метода является строгое соблюдение толщины стенки и высокое качество обеих поверхностей изделия [5].

Технология прессования включает укладку на пуансон (на нижней плите пресса) требуемого количества слоёв наполнителя, добавление необходимой дозы связующего, смыкание формы с распределением связующего по всей полости формы и равномерной пропиткой наполнителя, избыток связующего выдавливается из полости формы через зазор между пресс-кантами (рис. 3).

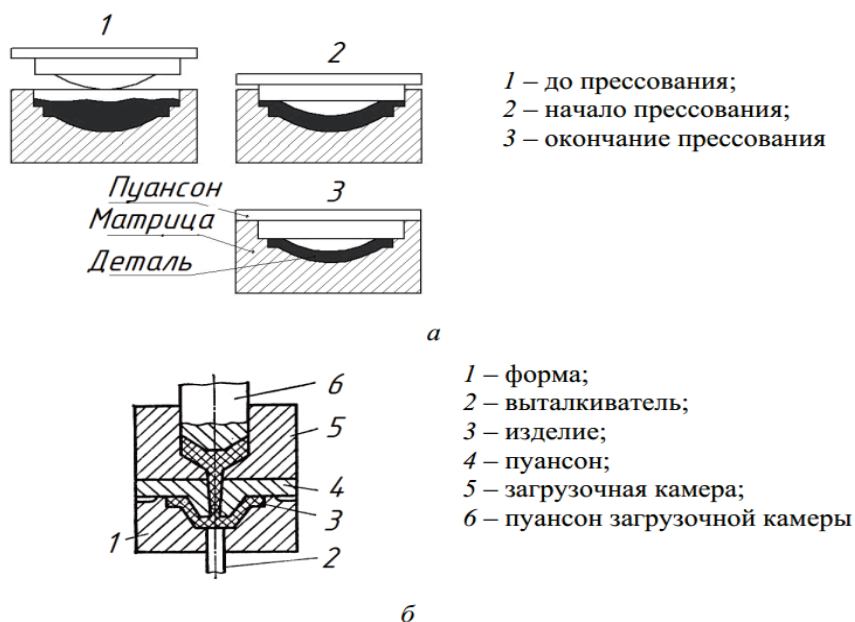


Рисунок 3 – Метод прессования

Перед прессованием сложных изделий предварительно изготавливают объёмные заготовки. Для этого жгут с упаковок подают в режущее устройство, из которого рубленые стеклонити направляют на перфорированную форму, контуры которой повторяют контуры будущего изделия. Одновременно из пистолета-распылителя подаётся связующее, необходимое для связывания стекловолокна между собой. Полученную заготовку после термообработки снимают с формы.

Метод прессования изделий из стеклопластиков близок к обычному методу прессования реактопластов, а специфические особенности его учитываются в конструкции самих прессов и формирующего инструмента. Так, в

конструкции пресса предусматривается система регулирования скорости и давления смыкания пресса, что важно, когда связующее вводится локально и пропитывает наполнитель в процессе смыкания формы [4].

### **1.2.5. Метод пропитки под давлением в замкнутой форме**

Одним из используемых в технологической практике способов производства изделий из стеклопластиков является метод пропитки под давлением в замкнутой форме. Он позволяет получать изделия высокого качества без воздушных включений. Метод используется для формования различных оболочек, корпусных изделий, кузовов машин, емкостей и т.д. Наиболее эффективен для изготовления крупных и средних серий изделий. Получаемые изделия имеют стабильные эксплуатационные характеристики.

Метод пропитки под давлением относится к методам закрытого формования стеклопластиков, то есть в этом случае обе поверхности изделия формируются жесткими элементами формы. Это обеспечивает строгое соблюдение заданной толщины стенки изделия и высокое качество обеих поверхностей. В качестве армирующего наполнителя используются в основном холсты и ткани [5].

Технология пропитки под давлением в замкнутой форме заключается в следующем. Непропитанный сухой наполнитель выкладывают послойно на пуансон и затем пуансон и матрица смыкаются, обеспечивая герметичность полости. Далее в полости формы создаётся разрежение, в результате чего связующее, поступающее из вспомогательного бака, пропитывает наполнитель. Время пропитки является одним из важнейших параметров технологического процесса производства стеклопластиков, и оно должно быть меньше времени жизнеспособности связующего. Время пропитки зависит от габаритов и формы изделия, плотности стекловолоконной заготовки, характера ориентации волокон относительно направления движения связующего при пропитке, вязкости связующего. Существенное влияние оказывает также расположение источников питания и стока связующего. При нескольких источниках питания и стоках связующего, расстояния между ними для различных частей формы выбирают примерно одинаковыми на всех участках. Процесс пропитки считается законченным, когда из центрального штуцера будет выходить смола без воздушных пузырьков. После выравнивания давления по всей полости формы закрывают периферийные штуцеры, промывают коммуникации, проводят отверждение связующего [4].

### 1.2.6. Метод протяжки

Методом протяжки могут быть получены изделия из стеклопластиков в виде труб и различных профилей. Технология формования методом протяжки включает ряд операций: пропитка стекловолоконного наполнителя связующим; протяжка через отверстие определённой формы; формование по определённому профилю; отверждение при последующей термообработке в термокамере. Для перемещения формуемого профиля используются тянущие валки. Применяют метод протяжки преимущественно для получения изделий с однонаправленным расположением стекловолокна, подверженным значительным сжимающим нагрузкам [4].

Для улучшения свойств профиля в поперечном направлении комбинируют использование методов протяжки и намотки. Формуемый профиль имеет в структуре композиции продольно расположенные нити и может протягиваться через калибровочное отверстие. Перекрёстно намотанные нити повышают поперечную прочность. Производство изделий методом протяжки используется в строительстве для изготовления из стеклопластиков гофрированных и плоских листов.

## 2. УГЛЕПЛАСТИК

### 2.1. Понятие, основные свойства и применение

Карбон – полимерные композитные материалы из переплетённых нитей углеродного волокна, расположенных в матрице из полимерных смол (рис.4).

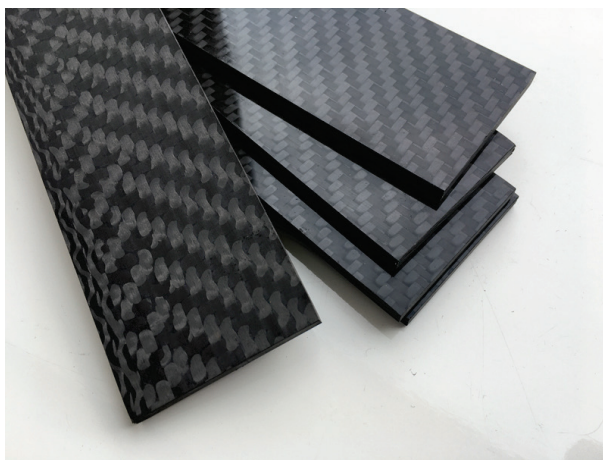


Рисунок 4 – Углепластик

Материалы отличаются высокой прочностью, жёсткостью и малой массой, часто прочнее стали и гораздо легче.

Вследствие дороговизны, при экономии средств и отсутствии необходимости получения максимальных характеристик этот материал применяют в качестве усиливающих дополнений в основном материале конструкции.

Основная составляющая часть углепластика – это нити углеродного волокна, состоящего в основном из атомов углерода. Такие нити очень тонкие, сломать их очень просто, а вот порвать достаточно трудно. Из этих нитей сплетаются ткани. Они могут иметь разный рисунок плетения. Для придания ещё большей прочности ткани, нити углерода кладут слоями, каждый раз меняя угол направления плетения. Слои скрепляются с помощью эпоксидных смол [6].

Нити углерода обычно получают термической обработкой химических или природных органических волокон, при которой в материале волокна остаются главным образом атомы углерода. Помимо обычных органических волокон, для получения нитей углерода могут быть использованы специальные волокна из фенольных смол, лигнина, каменноугольных и нефтяных пеков. Кроме того, детали из карбона превосходят по прочности детали из стекловолокна, но при этом обходятся значительно дороже.

Дороговизна карбона вызвана, прежде всего, более сложной технологией производства и большей стоимостью производных материалов. Например, для проклейки слоёв используются более дорогие и качественные смолы, чем при работе со стеклотканью, а для производства деталей требуется более дорогое оборудование.

При производстве углепластиков необходимо очень строго выдерживать технологические параметры, при нарушении которых прочностные свойства изделий резко снижаются. Необходимы сложные и дорогостоящие меры контроля качества изделий.

Другим серьёзным недостатком углепластиков является их низкая стойкость по отношению к ударным нагрузкам. Повреждения конструкций при ударах посторонними предметами в виде внутренних трещин и расслоений могут быть невидимы глазу, но приводят к снижению прочности; разрушение повреждённой ударами конструкции может произойти уже при относительной деформации, равной 0,5 % [7].

Углепластики широко используются при изготовлении легких, но прочных деталей, заменяя собой металлы. В автомобилестроении они нашли себе применение: спортивные автомобили (например, бамперы, пороги, двери, крышки капотов), мотоциклы, прототипы MotoGP, болиды Формулы 1, а также при оформлении салонов.

## 2.2. Методы производства углепластиков

**Метод получения изделий из препрегов.** Препрег – это полуфабрикат из пропитанных смолой волокон или тканей, используемых в производстве.

Такой метод аналогичен формованию стеклопластиков с ручной выкладкой стекловолокнистых полуфабрикатов. Слоистый пластик в этом случае получают ручной выкладкой слоев препрега на основе углеродных волокон, а отверждение проводят методами горячего прессования, автоклавного формования, методом формования на поворотном столе и т. д.

При этом технология позволяет получать не только изделия заданной формы, но и с идеально точными размерами. Используемые армирующие материалы значительно усиливают характеристики прочности и жесткости, а нарушение ориентации волокон вообще отсутствует при правильной укладке материала [8].

Этапы производства:

1. Выбор схемы ориентации волокон с последующим раскроем препрега.
2. Укладка раскроенного материала в пакет. На данном этапе существует также много нюансов, связанных с соблюдением ориентации волокон, что может потребовать дополнительных операций по укладке их в тетроновую ткань.
3. Укладка пакета в металлическую форму и, если применяются в качестве связующих вещества на основе эпоксидных смол, его предварительное прогревание. Только после этого запускают процесс прессования, устанавливая величину давления в зависимости от сложности формы. Используемая полимерная система предопределяет температуру и время термической обработки.
4. Извлечение изделия и осуществление его зачистки. В ряде случаев проводят дополнительное отверждение полученного изделия в термокамере.

**Пултрузия.** Технология изготовления высоконаполненных волокном композиционных деталей с постоянной поперечной структурой. Процесс получения однонаправленных профильных изделий.

Основные стадии этого процесса, называемого также методом протяжки (рис. 5):

- 1) пропитка связующим пучков волокон;
- 2) отжим избытка связующего;
- 3) придание материалу заданного сечения путем протягивания его через фильеру непрерывным или периодическим способом;
- 4) разрезка профильных изделий на элементы заданной длины.

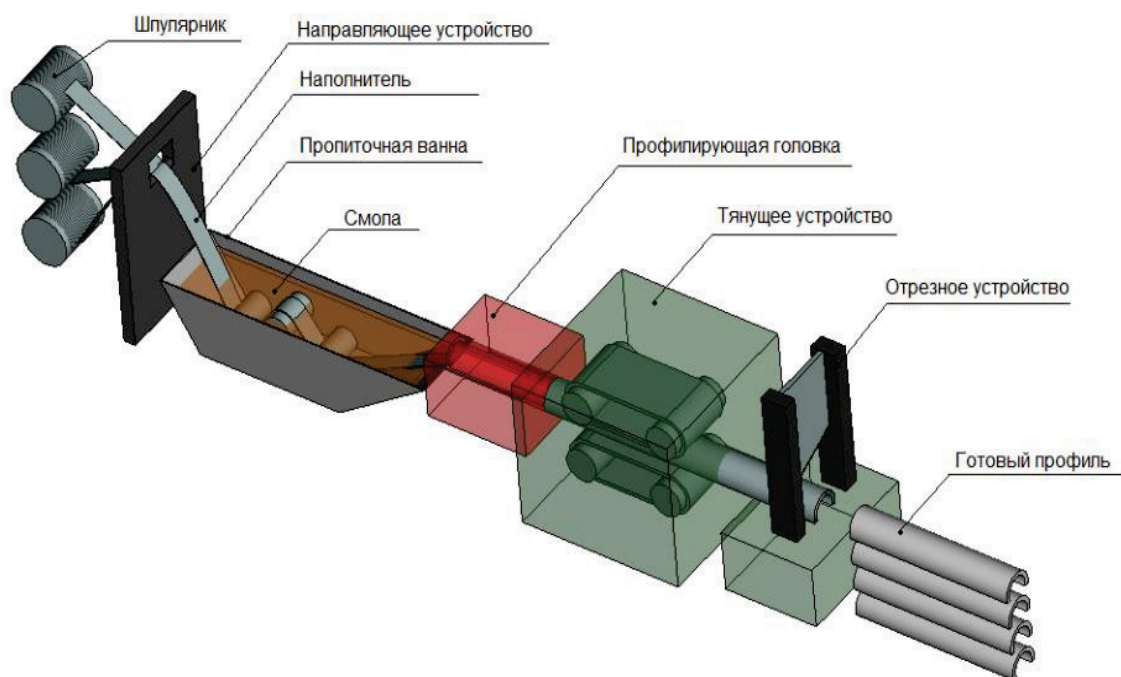


Рисунок 5 – Процесс пултрुзии

Такой процесс предельно прост, полностью автоматизирован и весьма перспективен для промышленного производства профильных изделий из армированных пластиков [7].

**Технология LFI** была разработана немецкой фирмой Krauss Maffei в 1995 году. Характеристика производства: инъекция длинного волокна, процесс, используемый для производства компонентов интерьера и экстерьера автомобилей, конструкция которых имеет сложную форму, крупные габариты и окрашенную поверхность класса А. В этом процессе рубленое волокно из асбемблированного ровинга напыляется в форму (матрицу) с контролируемой температурой. В это же время смешивается жидкий изоцианат и полиол, подаётся совместно с рубленым волокном в матрицу. Все эти компоненты напыляются в форму (матрицу), форма смыкается и заполняются путём расширения полиуретановой пены в результате химической реакции введённых компонентов. Несколько минут спустя полимеризация закончена и изделие может быть извлечено из матрицы [7].

**Технология SMC/BMC.** Материал нарезается в соответствии со схемой раскроя и переносится в пресс-форму, нагретую до рабочей температуры. Пресс-форма смыкается, в результате чего под давлением материал растекается в полости формы и отверждается. В конце цикла изделие извлекается из пресс-формы и производится его окончательная механическая обработка и окраска (если это необходимо) [7].

**Автоклавное формование.** Суть заключается в процедуре укладки препрега на форму. Всю конструкцию размещают в вакуумном мешке с последующим изменением давления. Поэтому технология отверждения, подразумевающая создание градиента давления относительно атмосферного, носит название формование с применением вакуумного мешка [8].

Основные этапы формовки:

1. На форму помещают требуемое количество слоев препрега.
2. Используя автоклав (рис. 6), запускают процесс отверждения.
3. Обрезают полученные изделия.



Рисунок 6 – Автоклав

**Инжекционный метод.** Инжекционный метод получения изделий из углепластиков (рис.7). Этот метод известен давно: впервые патенты на него появились около 30 лет назад. Изделия получают, предварительно помещая в форму армирующий материал и впрыскивая затем в нее связующее. Достоинства метода: 1) сравнительно низкая стоимость пресс-формы, инъекционных устройств и вспомогательного оборудования; 2) пониженные энергозатраты; 3) возможность автоматизации процесса; 4) экологическая чистота, обусловленная тем, что связующее на всех этапах процесса находится в закрытом от окружающей среды объеме; 5) возможность мелко- и среднесерийного производства крупногабаритных изделий [8].



Рисунок 7 – Инжекционный метод

Укажем последовательность операций при формовании изделий инъекционным методом:

1. Очистка пресс-формы и нанесение тонкого слоя антиадгезионного вещества, облегчающего отделение изделия от формы (смесь кремнийорганического воска и поливинилового спирта; неподвижную часть пресс-формы покрывают только кремнийорганическим воском).

2. Нанесение на поверхность пресс-формы слоя связующего для формования наружного покрытия изделия.

3. Введение в пресс-форму углеродных либо стеклянных волокон или других армирующих материалов, закладных элементов и т. д.

4. Смыкание пресс-формы с фиксацией ее частей относительно друг друга.

5. Впрыскивание внутрь сомкнутой пресс-формы связующего под давлением.

6. Отверждение изделий приблизительно в течение 15–30 мин.

7. Раскрытие пресс-формы.

8. Отделение изделия от пресс-формы с помощью сжатого воздуха.

9. Окончательная обработка изделия (обрезка кромок и литника, зачистка и т. д.).

#### **Метод формования на матрице листовых формовочных материалов.**

Прессование листовых формовочных материалов (ЗМС) на основе углеродных волокон проводят в основном так же, как прессование аналогичных материалов на основе стекловолокон. Во время прессования необходимо использовать высокое давление. С учетом площади проекции формируемых изделий оно должно составлять для изделий простой формы 3–5 МПа, а сложной – 15 МПа. В соответствии с этими требованиями необходимо конструировать пресс-форму и выбирать прессовое оборудование [7].

При переработке листовых формовочных материалов в изделия важным этапом является операция загрузки пакета в пресс-форму. Она оказывает большое влияние на прочность и внешний вид изделий. Последовательность основных стадий формования следующая:

1. Раскрой (разрезка) листового формовочного материала (при серийном производстве используют автоматическую режущую машину).

2. Пакетирование нарезанного листового формовочного материала в соответствии со схемой его размещения в форме.

3. Загрузка материала в пресс-форму.

4. Смыкание верхней и нижней частей пресс-формы.

5. Повышение давления и температуры (для связующих на основе ненасыщенных полиэфирных смол и поливиниловых эфиров температура составляет обычно 403–413 К; для улучшения внешнего вида изделий температура пресс-формы должна быть на 5–10 К выше). Время выдержки под давлением определяется конфигурацией изделия (главным образом его толщиной) и составляет несколько минут.

6. Разъем формы и извлечение из нее изделия.

7. Окончательная отделка (зачистка) готового изделия.

**Формование с помощью вспененного слоя.** Этот метод называется также формованием с отжимом связующего. Процесс формования проводят



следующим образом:

1. С двух сторон пенопласта с сообщающимися порами, пропитанного полимером, укладывают армирующие материалы в виде ткани, мата и т. д.

2. Пакет помещают в пресс-форму и под давлением выжимают связующее из пенопласта, которое проникает в находящиеся с двух сторон от него слои армирующих материалов.

3. Повышая температуру, отверждают пакет и получают изделие, содержащее в центре слой пенопласта [8].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Процесс производства изделий из стеклопластика и углепластика включает несколько этапов. На первом этапе проводится подготовка сырья – стеклянных волокон или углеродных волокон. Затем происходит их пропитка полимерной смолой, которая обеспечивает связующую основу для материала. После этого волокна вытягиваются и формируются в нужную форму – путем прессования, вакуумной инфузии или другими методами. Затем изделие проходит термообработку – полимеризацию или отверждение смолы, что придает ему окончательные свойства и прочность. На последнем этапе проводится финишная обработка – шлифование, покрытие защитным слоем и др.

Производство изделий из стеклопластика и углепластика имеет ряд преимуществ. Во-первых, эти материалы обладают высокой прочностью и жесткостью при небольшом весе, что позволяет создавать легкие и прочные конструкции. Во-вторых, они обладают хорошей устойчивостью к химическим веществам, влаге и коррозии. Кроме того, изделия из стекловолокна и углепластика обладают долгим сроком службы и могут использоваться в различных условиях эксплуатации.

Однако, производство изделий из стекловолокна и углепластика имеет и некоторые недостатки. Во-первых, эти материалы достаточно дорогие по сравнению с традиционными материалами, такими как металл или дерево. Кроме того, процесс производства требует специального оборудования и технологических знаний.

В целом, производство изделий из стеклопластика и углепластика является важной отраслью промышленности, которая обеспечивает различные отрасли экономики качественными и надежными материалами. С постоянным развитием технологий и совершенствованием процессов производства, эти материалы становятся все более востребованными и находят все большее применение в различных сферах человеческой деятельности.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стеклопластик: виды и свойства [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://building-companion.ru/blog/stekloplastik-vidy-i-svoystva/?ysclid=ljktpbhade425790787> (дата обращения: 28.06.2023).
2. Преображенский А. И. Стеклопластики – свойства, применение, технологии // Главный механик. – 2010. – № 5. – С. 29-35.
3. Изготовление кузова из стеклопластика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://savim-auto.by/articles/izgotovlenie-kuzova-iz-stekloplastika/?ysclid=ljhc4jt5wx922932322> (дата обращения: 28.06.2023).
4. Технология изготовления деталей из стеклопластика при выполнении кузовного тюнинга [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://bstudy.net/768269/tehnika/tehnologiya\\_izgotovleniya\\_detaley\\_stekloplastika\\_vypolnenii\\_kuzovnogo\\_tyuninga?ysclid=ljhc0tpnqi437881145](https://bstudy.net/768269/tehnika/tehnologiya_izgotovleniya_detaley_stekloplastika_vypolnenii_kuzovnogo_tyuninga?ysclid=ljhc0tpnqi437881145) (дата обращения: 28.06.2023).
5. Технология производства стеклопластика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.poliuretan.ru/stekloplastik/tehnologiya/?ysclid=ljeeps6gr563350509> (дата обращения: 29.06.2023).
6. Дж. Любина Композиционные материалы: Справочник. – М., 1988. – С.285-291.
7. Технологии получения изделий из карбона [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://comcarbo.ru/news/tekhnologii-polucheniya-izdeliy-iz-karbona/?ysclid=ljefb1n92882211922> (дата обращения: 29.06.2023).
8. Методы производства углепластиков [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://graphite-pro.ru/technology/> (дата обращения: 30.06.2023).

Учебное издание

**Смирнова Анастасия Игоревна  
Демьянцева Елена Юрьевна  
Осовская Ираида Ивановна**

**Организация учебной (технологической (проектно-  
технологической)) практики студентов  
на кафедре физической и коллоидной химии**

*Учебно-методическое пособие*

Редактор и корректор М. Д. Баранова  
Техн. редактор Д. А. Романова

Учебное электронное издание сетевого распространения

Системные требования:  
электронное устройство с программным обеспечением  
для воспроизведения файлов формата PDF

Режим доступа: [http://publish.sutd.ru/tp\\_get\\_file.php?id=202016](http://publish.sutd.ru/tp_get_file.php?id=202016), по паролю. -  
Загл. с экрана.

Дата подписания к использованию 07.02.2024 г. Рег. № 5027/24

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД  
198095, СПб., ул. Ивана Черных, 4.