

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Казанский государственный аграрный университет»**

**Н.З. Мингалеев, С.М. Яхин, Г.В. Пикмуллин, А.А. Мустафин  
А.В. Дмитриев, С.А. Синицкий, М.А. Лушнов, Р.Р. Лукманов**

**УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ**

**ПОЛИМЕРНЫЕ И  
КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

**Казань 2017**

ББК 30.3  
УДК 621.7-621.9

**Составители:** Мингалеев Н.З., Яхин С. М., Пикмуллин Г. В., Мустафин А.А.,  
Дмитриев А.В., Сеницкий С.А., Лушнов М.А., Лукманов Р.Р.

Рецензенты:

зав. каф. «Эксплуатация и ремонт машин» Казанский ГАУ д.т.н.,  
профессор Адигамов Н.Р.;

профессор кафедры «Технологии синтетического каучука» КНИТУ  
д.т.н., профессор Зенитова Л.А.

Учебное пособие «Полимерные и композиционные материалы»  
обсуждены, одобрены и рекомендованы к печати на заседании методической  
комиссии Института механизации и технического сервиса Казанского  
государственного аграрного университета 09.11.2017г., протокол № 3.

Мингалеев Н.З. Полимерные и композиционные материалы. Учебное  
пособие / Н.З.Мингалеев, С. М. Яхин, Г. В. Пикмуллин, Мустафин А.А.,  
Дмитриев А.В., Сеницкий С.А., Лушнов М.А., Лукманов Р.Р. Казань: Изд-во  
Казан. Гос. аграрного ун-та, 2017. – 84с. ISBN 978-5-905201-47-9.

Учебное пособие предназначено для студентов Казанского ГАУ очной и  
заочной формы обучения, изучающих курс «Материаловедение» и  
«Материаловедение и технология конструкционных материалов». Содержание  
учебного пособия соответствует Федеральному Государственному образовательному  
стандарту высшего образования по направлениям подготовки: 35.03.06 - «Агроинженерия», 23.03.03 -  
«Эксплуатация транспортно - технологических машин и комплексов», 23.05.01 – «Наземные транспортно-технологические средства» и 21.03.02  
«Землеустройство и кадастры».

Учебное пособие содержит необходимый теоретический материал,  
вопросы для самопроверки и задания контрольных работ.

Учебное пособие может использоваться студентами для  
самостоятельной работы по изучению курса и для выполнения контрольных  
работ по дисциплинам «Материаловедение и «Материаловедение и  
технология конструкционных материалов».

ISBN 978-5-905201-47-9

ББК 30.3  
УДК 621.7-621.9

©Казанский государственный аграрный университет 2017 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ .....	5
2. КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ.....	37
3. РЕЗИНА .....	51
4. ОПИСАНИЕ И ВАРИАНТЫ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ .....	70
5. ЗАДАНИЕ НА КОНТРОЛЬНУЮ РАБОТУ .....	72
6. ТЕМЫ РЕКОМЕНДУЕМЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ.....	75
7. РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ТЕМЫ РЕФЕРАТОВ .....	76
8. СОДЕРЖАНИЕ И СТРУКТУРА ТЕСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	77
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	82
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА .....	83
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	84

## ВВЕДЕНИЕ

Полимерные вещества внедрились во все сферы человеческой деятельности - технику, здравоохранение, быт. Ежедневно мы сталкиваемся с различными пластмассами, резинами, синтетическими волокнами. Полимерные материалы обладают многими полезными свойствами: они высоко устойчивы в агрессивных средах, хорошие диэлектрики и теплоизоляторы. Некоторые полимеры обладают высокой стойкостью к низким температурам, другие - водоотталкивающими свойствами и так далее.

Недостатками многих высокомолекулярных соединений является склонность к старению и, в частности, к деструкции - процессу уменьшения длины цепи и размеров молекул. Деструкция может быть вызвана механическими нагрузками, действием света, теплоты, воды и особенно кислорода и озона.

В учебном пособии освещаются такие темы как классификация, общие особенности структуры и свойства, теоретические основы получения и типы используемых связующих, наполнителей и добавок, основные технологические свойства и основные технологии получения полимерных композиционных материалов. Приведены контрольные вопросы на закрепление материала по основам технологии получения полимерных композиционных материалов.

Учебное пособие рекомендовано для студентов, обучающихся по направлениям подготовки: 35.03.06 - «Агроинженерия», 23.03.03 - «Эксплуатация транспортно - технологических машин и комплексов», 23.05.01 – «Наземные транспортно-технологические средства» и 21.03.02 «Землеустройство и кадастры».

# 1. ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

## Общие сведения

**Полимеры** – высокомолекулярные соединения, молекулы которых, называемые макромолекулами, состоят из большого числа одинаковых группировок, связанных между собой химическими связями (рисунок 1.1).

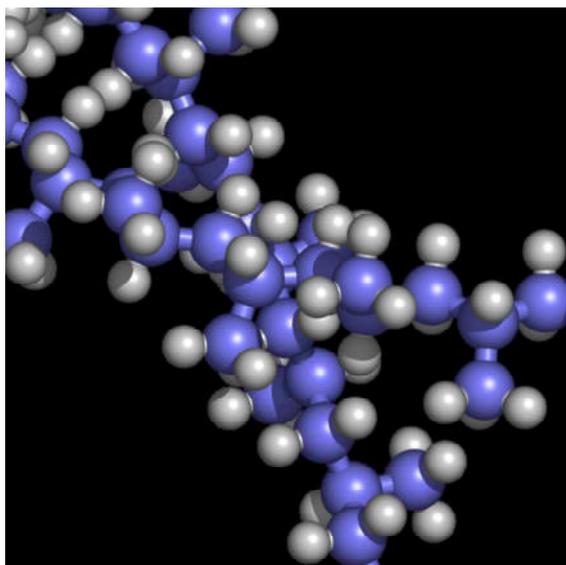


Рисунок 1.1 - Схема полимера

**Пластические массы (пластмассы)** - высокомолекулярные органические и элементоорганические соединения (полимеры) и композиции на их основе, способные принимать заданную форму под влиянием внешнего воздействия (температуры и давления) и сохранять ее после устранения внешнего воздействия.

## Структура полимеров

Структура полимеров сложна; она имеет многоуровневое строение. Следует выделить три уровня структуры.

**Молекулярный уровень.** Первичным элементом полимерной структуры является повторяющееся молекулярное образование определенного химического состава - звено. Главными объектами структурного анализа полимеров на этом уровне являются химический состав звена, тип

химической связи между атомами, порядок присоединения взаимодействующих атомов, их пространственное расположение, характер концевых групп макромолекул, молекулярное движение, а также способность звеньев полимера к межмолекулярным взаимодействиям. Анализ структуры полимеров на молекулярном уровне позволяет понять многие особенности этих веществ, предсказать многие их свойства. В химической формуле полимера закодирована основная информация о нем. Но этого недостаточно для полной оценки их свойств.

**Топологический уровень.** Макромолекулы полимеров имеют цепное строение и в пространстве находятся в виде волокон, вытянутых или свернутых, перепутанных или упорядоченных, линейных, разветвленных или "сшитых" поперечными химическими связями. Для оценки структуры на этом уровне важны знания молекулярной массы полимера, молекулярно-массового распределения и молекулярной массы цепи между узлами структурной пространственной сетки.

**Надмолекулярный уровень.** На этом уровне следует рассматривать всю совокупность явлений, связанных с межмакромолекулярными взаимодействиями. Это процессы упорядочения и аморфизации структуры, явления фазовых и структурных превращений в полимерах, а также релаксационные явления. Взаимное расположение и характер взаимодействия макромолекул и их агрегатов называют надмолекулярной структурой полимеров.

Только полное рассмотрение структуры полимеров на всех уровнях позволяет оценить свойства этих веществ и возможности в создании материалов на основе полимеров.

Главная информация о полимере содержится в его химической структурной формуле, включающей химический состав звена и порядок соединения атомов между собой. На этой формуле строится классификация полимеров.

В соответствии с химической природой полимеры делятся на *органические, неорганические и элементарорганические*.

**Органические полимеры** содержат атомы углерода, водорода, азота, кислорода, галогенов. Примером карбоцепных органических полимеров являются полиолефины и полимеры виниловых мономеров общей формулы  $[\text{CH}_2\text{-CHX(H)-}]_n$ , где X - акрил, галоген, эфирная, нитрильная или другая функциональная группа.

**Неорганические полимеры** не содержат связей C-H. К гомоцепным неорганическим полимерам относятся линейные модификации серы и селена, к гетероцепным - полифосфонитрилхлорид  $[-\text{PCl}_2=\text{N-}]_n$ .

**Элементарорганические полимеры** содержат как органические, так и неорганические группы. Примером гетероцепного элементарорганического полимера является полидиметилсилоксан  $[-\text{Si}(\text{CH}_3)_2\text{O-}]_n$ .

Кроме химического состава главной цепи важным структурным элементом полимера являются боковые «заместители» в них атомов водорода, это могут быть химические радикалы типа -  $\text{CH}_3$ ,-  $\text{C}_3\text{H}_7$ ,-  $\text{C}_6\text{H}_5$  или функциональные группы: -  $\text{COOH}$ , -  $\text{OH}$ , -  $\text{NH}_2$  и др. Порядок соединения атомов в составе полимерного звена дает представление о наличии боковых заместителей и функциональных групп.

Помимо классификации, основанной на химической природе полимера, также распространена классификация, рассматривающая строение макромолекулы в целом. Для макромолекул цепных полимеров характерна большая или меньшая гибкость, поэтому пространственные формы макромолекул определяются как порядком расположения атомов, так и гибкостью макромолекулярной цепи.

### **Классификация полимеров**

По происхождению полимеры делятся на природные (биополимеры), например белки, нуклеиновые кислоты, смолы природные, натуральный каучук, целлюлоза, слюда, асбест, природный графит. Однако ведущей

группой являются синтетические полимеры, получаемые в процессе химического синтеза из низкомолекулярных соединений. Возможности создания, новых полимеров и изменения свойств уже существующих очень велики. Синтезом можно получать полимеры с разнообразными свойствами и даже создавать материалы с заранее заданными характеристиками, например полиэтилен, полипропилен, феноло-формальдегидные смолы (рисунок 1.2).

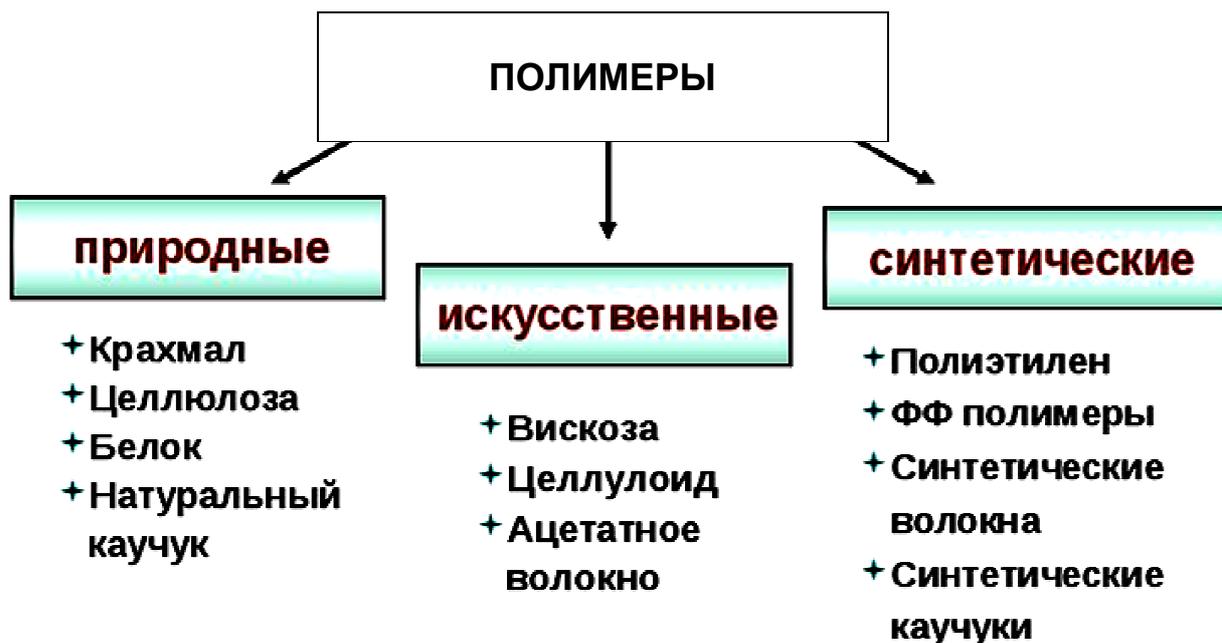


Рисунок 1.2 - Классификация полимеров

Атомы или атомные группы могут располагаться в макромолекуле в виде: открытой цепи или вытянутой в линию последовательности циклов (линейные полимеры, например каучук натуральный); цепи с разветвлением (разветвленные полимеры, например амилопектин), трехмерной сетки (сшитые полимеры, например отвержденные эпоксидные смолы). Полимеры, молекулы которых состоят из одинаковых мономерных звеньев, называются *гомополимерами* (например поливинилхлорид, поликапроамид, целлюлоза) (рисунок 1.3).

Макромолекулы одного и того же химического состава могут быть построены из звеньев различной пространственной конфигурации. Если макромолекулы состоят из одинаковых стереоизомеров или из различных

стереоизомеров, чередующихся в цепи в определенной периодичности, полимеры называются *стереорегулярными*.

Полимеры, макромолекулы которых содержат несколько типов мономерных звеньев, называются *сополимерами*. Сополимеры, в которых звенья каждого типа образуют достаточно длинные непрерывные последовательности, сменяющие друг друга в пределах макромолекулы, называются *блоксополимерами*. К внутренним (неконцевым) звеньям макромолекулы одного химического строения могут быть присоединены одна или несколько цепей другого строения. Такие сополимеры называются *привитыми*.

### ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

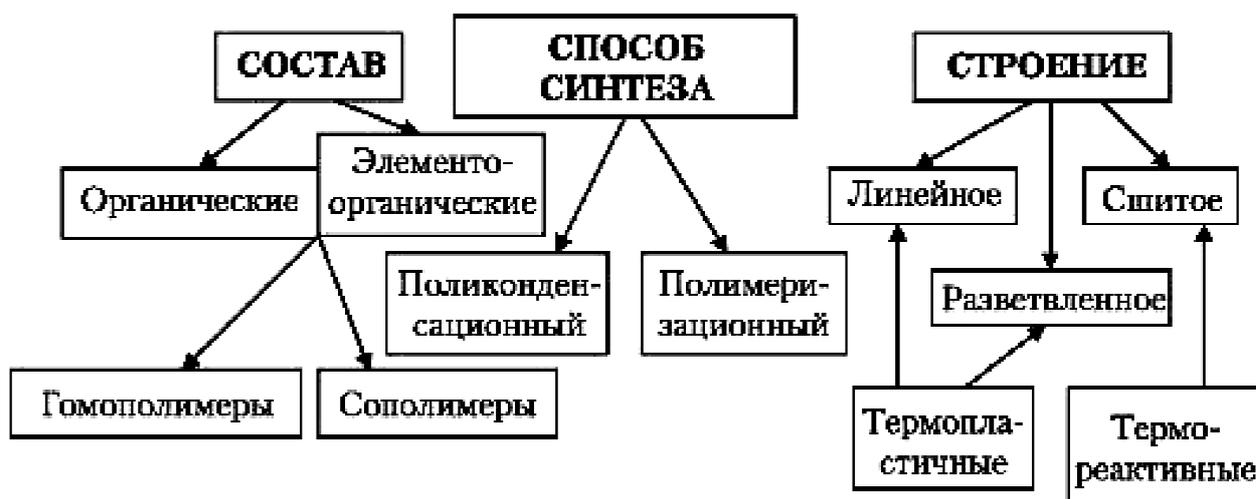


Рисунок 1.3 - Классификация полимеров

Полимеры, в которых каждый или некоторые стереоизомеры звена образуют достаточно длинные непрерывные последовательности, сменяющие друг друга в пределах одной макромолекулы, называются *стереоблоксополимерами*.

В зависимости от состава основной (главной) цепи полимеры, делят на: *гетероцепные*, в основной цепи которых содержатся атомы различных элементов, чаще всего углерода, азота, кремния, фосфора, и *гомоцепные*, основные цепи которых построены из одинаковых атомов. Из гомоцепных полимеров наиболее распространены карбоцепные полимеры, главные цепи

которых состоят только из атомов углерода, например полиэтилен, полиметилметакрилат, политетрафторэтилен. Примеры гетероцепных полимеров - полиэферы (полиэтилентерефталат, поликарбонаты), полиамиды, мочевино-формальдегидные смолы, белки, некоторые кремнийорганические полимеры. Полимеры, макромолекулы которых наряду с углеводородными группами содержат атомы неорганогенных элементов, называются *элементоорганическими*. Отдельную группу полимеров образуют неорганические полимеры, например пластическая сера, полифосфонитрилхлорид.

### **Классификация пластмасс по признакам:**

1. **По природе связующего вещества:** *пластмассы на основе природных полимеров* (галалит); *искусственных полимеров*, получаемых путем химической обработки натуральных высокомолекулярных соединений (целлулоид, вискоза, ацетат целлюлозы); *синтетических полимеров*, получаемых путем реакции полимеризации или поликонденсации низкомолекулярных соединений (полиэтилен, поливинилхлорид, полиамиды, полистиролы, феноло-формальдегидные смолы, полиуретаны и др.);

2. **По способу получения:** *полимеризационные*, получаемые в результате реакции полимеризации из молекул одинаковых мономеров без образования побочных продуктов (полиэтилен, полипропилен, поливинилхлорид, полистирол и др.); *разновидности полимеризации:* сополимеризация (в нее вступают молекулы разных мономеров) и блок-сополимеризация (разные мономеры соединяются в цепочку блоками, состоящими из нескольких молекул мономера); *поликонденсационные*, получаемые в результате реакции поликонденсации из молекул разных мономеров с выделением побочных продуктов (полиамиды, полиэферы, эпоксидные смолы, фенопласты, аминопласты и др.); *химически модифицированные*, получаемые из природных полимеров в результате модификации (целлулоид, вискоза, ацетат целлюлозы);

3. **По отношению к нагреванию:** *термопластичные* пластмассы, изменения свойств которых при нагревании носят обратимый характер (полиэтилен, поливинилхлорид, полистирол, полиамиды, поликарбонаты и др.); *терморезистивные* пластмассы, переходящие при нагревании до определенных температур в неплавкое и нерастворимое состояние (фенопласт, аминопласт и др.);

4. **По наполнителю:** *пластмассы без наполнителя* (полистирол, полиметилметакрилат); *с наполнителем:* пресспорошковые (фенопласт, аминопласт), волокнистые, слоистые (текстолит с наполнителем из тканей, гетинакс с бумажным наполнителем), газонаполненные – пенистые и пористые (пенополиуретан, пенополистирол);

5. **По видам:** полиэтилен, полипропилен, ПВХ, полистирол и др.

### **Особенности строения и свойств.**

Полимеры - это высокомолекулярные вещества, молекулы которых состоят из повторяющихся структурных элементов - звеньев, соединенных в цепочки химическими связями, в количестве, достаточном для возникновения специфических свойств. Молекулярная масса их составляет от 5000 до 1000000 г/моль. При таких больших размерах макромолекул, свойства веществ определяются не только химическими составами этих молекул, но и их взаимным расположением и строением. Поперечное сечение цепи несколько ангстрем, а длина несколько тысяч ангстрем, Поэтому макромолекулам полимера свойственна гибкость (которая ограничена размером сегментов жестких участков, состоящих из нескольких звеньев). Атомы, входящие в основную цепь, связаны прочной химической (ковалентной) связью. Наиболее сильные межмолекулярные взаимодействия осуществляются посредством водородных связей (только в 4—10 раз слабее ковалентных). Таким образом, молекулы полимеров характеризуются прочными связями в самих макромолекулах и относительно слабыми между ними. В некоторых полимерах между звеньями, входящими в состав

соседних макромолекул, действуют силы химической связи. Такие вещества характеризуются высокими свойствами во всех направлениях. Когда основная цепь построена из одинаковых атомов, такой полимер называют *гомоцепным*, из разных - *гетероцепным*. Большое значение имеет стереорегулярность полимера, когда все звенья и заместители расположены в пространстве в определенном порядке. Это придает материалу повышенные физико-механические свойства (по сравнению с нерегулярными полимерами). Гибкость макромолекул является одной из отличительных особенностей полимеров. К специфическим свойствам следует отнести следующие способности: способность к значительным механическим обратимым высокоэластическим деформациям; к образованию анизотропных структур; к образованию высоковязких растворов при взаимодействии с растворителем; к резкому изменению свойств при добавлении малых добавок низкомолекулярных веществ.

Приведенные физико-химические особенности можно объяснить исходя из представления о строении полимеров. Говоря о строении, следует подразумевать элементный состав вещества, порядок связи атомов, природу связей, наличие межмолекулярных взаимодействий. Характерным для полимеров является наличие длинных цепных молекул с резким различием характера связей вдоль цепи и между цепями. Особенно следует отметить, что нет изолированных цепных молекул. Молекула полимера всегда находится во взаимодействии с окружающей средой, могущей иметь как полимерный характер (случай чистого полимера), так и характер обычной жидкости (разбавленные растворы полимеров). Поэтому для характеристики полимера не достаточно указания типа связей вдоль цепи - необходимо еще иметь сведения о природе межмолекулярного взаимодействия. Следует иметь в виду, что характерные свойства полимеров могут быть реализованы только тогда, когда связи вдоль цепи намного прочнее поперечных связей, образующихся вследствие межмолекулярного взаимодействия любого происхождения. Именно в этом и состоит основная особенность строения

полимерных тел. Поэтому можно утверждать, что весь комплекс аномальных свойств полимеров определяется наличием линейных цепных молекул с относительно слабым межмолекулярным взаимодействием. Разветвление этих молекул или соединение их в сетку вносит некоторые изменения в комплекс свойств, но не меняет положения дел по существу до тех пор, пока остаются достаточно длинные цепные линейные отрезки. Напротив, утрата цепного строения молекул при образовании из них глобул или густых сеток приводит к полной утрате всего комплекса характерных для полимеров свойств. Следствием вышеуказанного является возникновение гибкости цепной молекулы. Она заключается в её способности изменять форму под влиянием теплового движения звеньев или внешнего поля, в которое помещен полимер. Это свойство связано с внутренним вращением отдельных частей молекулы относительно друг друга. Полимеры, у которых наблюдаются достаточно интенсивные крутильные колебания, называются *гибкоцепными*, а полимеры, у которых повороты одной части цепи относительно другой затруднены - *жесткоцепными*. Значит, молекулы могут вращаться и изменять своё строение без разрыва химических связей, образуя различные конформации, под которыми понимают различные пространственные формы молекулы, возникающие при изменении относительной ориентации отдельных её частей в результате внутреннего вращения атомов или групп атомов вокруг простых связей, изгиба связей и др.

**Таким образом: полимеры** - химические соединения с высокой молекулярной массой (от нескольких тысяч до многих миллионов), молекулы которых (макромолекулы) состоят из большого числа повторяющихся группировок (мономерных звеньев). Атомы, входящие в состав макромолекул, соединены друг с другом силами главных и (или) координационных валентностей.

## Свойства полимеров

Своеобразие свойств полимеров обусловлено структурой их макромолекул. По форме макромолекул полимеры делятся на линейные (цеповидные), разветвленные, плоские, ленточные (лестничные), пространственные или сетчатые (рисунок 1.4).

Линейные макромолекулы полимера представляют собой длинные зигзагообразные или закрученные в спираль цепочки.

Гибкие макромолекулы с высокой прочностью вдоль цепи и слабыми межмолекулярными связями обеспечивают эластичность материала, способность его размягчаться при нагревании, а при охлаждении вновь затвердевать. Многие такие полимеры растворяются в растворителях. На физико-механические и химические свойства линейного полимера влияет плотность упаковки молекул в единице объема. При плотной упаковке возникает более сильное межмолекулярное притяжение, что приводит к повышению плотности, прочности, температуры размягчения и уменьшению растворимости.

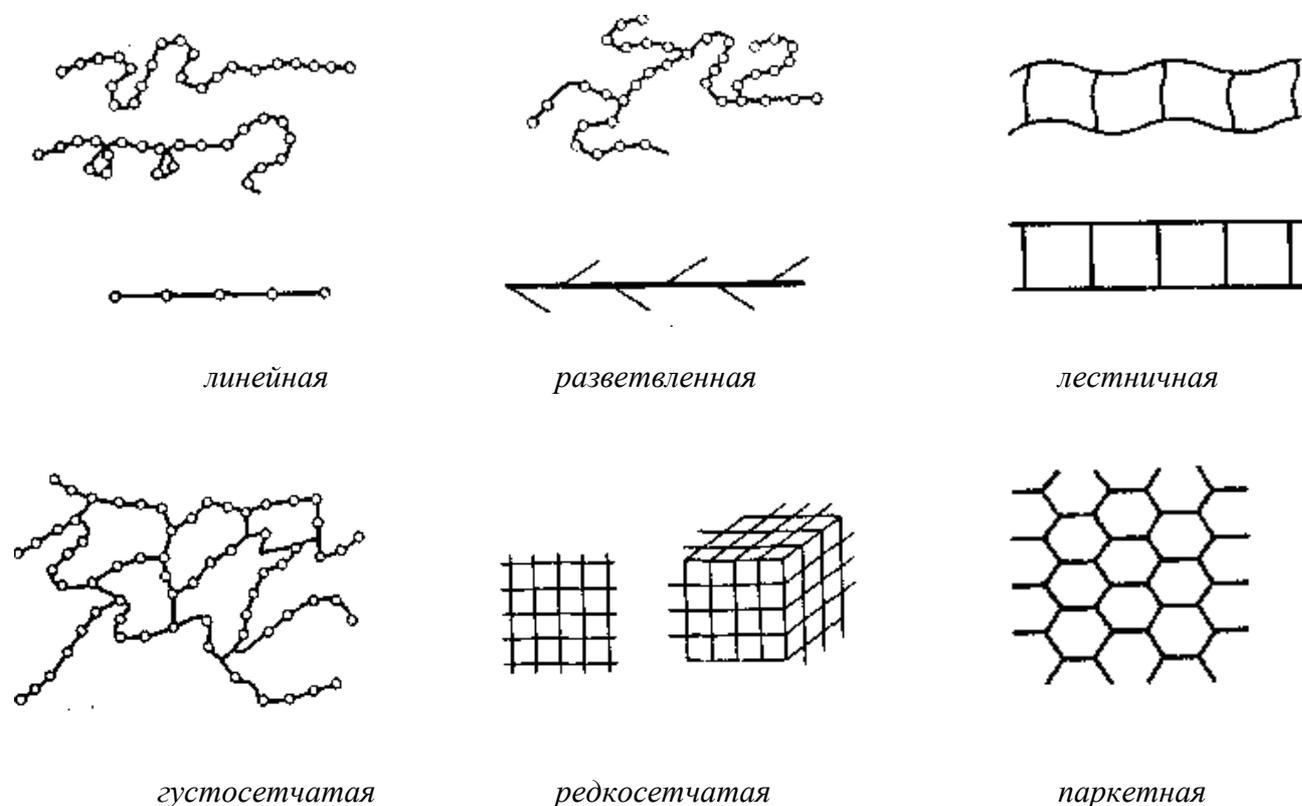


Рисунок 1.4 - Формы макромолекул полимеров

*Линейные* полимеры являются наиболее подходящими для получения волокон и пленок (например, полиэтилен, полиамиды и др.). *Разветвленные* макромолекулы полимера, являясь также линейными, отличаются наличием боковых ответвлений. Эти ответвления препятствуют сближению макромолекул, их плотной упаковке. Подобная форма макромолекул предопределяет пониженное межмолекулярное взаимодействие и, следовательно, меньшую прочность и повышенную плавкость, и растворимость (полиизобутилен). К разветвленным макромолекулам относятся и привитые полимеры, в которых состав основной цепи и редко расположенных боковых ответвлений неодинаков.

Пространственные или сетчатые полимеры образуются при соединении («сшивке») макромолекул между собой в поперечном направлении прочными химическими связями непосредственно или через химические элементы или радикалы. В результате такого соединения макромолекул образуется сетчатая структура с различной плотностью сетки (рисунок 1.4). *Редкосетчатые (сетчатые)* полимеры теряют способность растворяться и плавиться, они обладают упругостью (например, мягкие резины). *Густосетчатые (пространственные)* волокнистые с наполнителями в виде очесов хлопка и льна (волокниты), стеклянного волокна (стекловолокниты), асбеста (асбоволокниты); слоистые, содержащие листовые наполнители (листы бумаги в гетинаксе, хлопчатобумажные, стеклянные, асбестовые ткани в текстолите, стеклотекстолите и асботекстолите, древесный шпон в древеснослоистых пластиках); крошкообразные (наполнитель в виде кусочков ткани или древесного шпона, пропитанных связующим); газонаполненные (наполнитель - воздух или нейтральные газы). В зависимости от структуры последние подразделяют на пенопласты и поропласты.

Современные композиционные материалы содержат в качестве наполнителей угольные и графитовые волокна (карбоволокниты); волокна бора (бороволокниты).

Линейные полимеры обладают специфическим комплексом физико-химических и механических свойств. Важнейшие из этих свойств: способность образовывать высокопрочные анизотропные высокоориентированные волокна и пленки, способность к большим, длительно развивающимся обратимым деформациям; способность в высокоэластичном состоянии набухать перед растворением; высокая вязкость растворов. Этот комплекс свойств обусловлен высокой молекулярной массой, цепным строением, а также гибкостью макромолекул. При переходе от линейных цепей к разветвленным, редким трехмерным сеткам и, наконец, к густым сетчатым структурам этот комплекс свойств становится всё менее выраженным. Сильно сшитые полимеры нерастворимы, неплавки и неспособны к высокоэластичным деформациям.

Полимеры могут существовать в *кристаллическом* и *аморфном* состояниях. Необходимое условие кристаллизации - регулярность достаточно длинных участков макромолекулы. В кристаллических полимерах возможно возникновение разнообразных надмолекулярных структур (фибрилл, сферолитов, монокристаллов), тип которых во многом определяет свойства полимерного материала. Надмолекулярные структуры в незакристаллизованных (аморфных) полимерах менее выражены, чем в кристаллических. Незакристаллизованные полимеры могут находиться в трех физических состояниях: *стеклообразном*, *высокоэластичном* и *вязкотекучем*. Полимеры с низкой (ниже комнатной) температурой перехода из стеклообразного в высокоэластичное состояние называются *эластомерами*, с высокой - *пластиками*. В зависимости от химического состава, строения и взаимного расположения макромолекул свойства полимеров могут меняться в очень широких пределах. Так, цисполибутадиен, построенный из гибких углеводородных цепей, при температуре около 20 °С - эластичный материал, который при температуре - 60°С переходит в стеклообразное состояние; полиметилметакрилат, построенный из более жестких цепей, при температуре около 20°С - твердый

стеклообразный продукт, переходящий в высокоэластичное состояние лишь при 100 °С. Целлюлоза - полимер с очень жесткими цепями, соединенными межмолекулярными водородными связями, вообще не может существовать в высокоэластичном состоянии до температуры ее разложения. Большие различия в свойствах полимеров могут наблюдаться даже в том случае, если различия в строении макромолекул на первый взгляд и невелики.

Полимеры могут вступать в следующие основные типы реакций:

а) образование химических связей между макромолекулами (так называемое *сшивание*), например при вулканизации каучуков, дублении кожи;

б) распад макромолекул на отдельные, более короткие фрагменты, реакции боковых функциональных групп полимеров с низкомолекулярными веществами, не затрагивающие основную цепь (так называемые *полимераналогичные превращения*);

в) внутримолекулярные реакции, протекающие между функциональными группами одной макромолекулы, например *внутримолекулярная циклизация*.

Сшивание часто протекает одновременно с деструкцией. Примером полимераналогичных превращений может служить омыление поливинилацетата, приводящее к образованию поливинилового спирта. Скорость реакций полимеров с низкомолекулярными веществами часто лимитируется скоростью диффузии последних в фазу полимера. Наиболее явно это проявляется в случае сшитых полимеров. Скорость взаимодействия макромолекул с низкомолекулярными веществами часто существенно зависит от природы и расположения соседних звеньев относительно реагирующего звена. Это же относится и к внутримолекулярным реакциям между функциональными группами, принадлежащими одной цепи.

Некоторые свойства полимеров, например растворимость, способность к вязкому течению, стабильность, очень чувствительны к действию небольших количеств примесей или добавок, реагирующих с макромолекулами. Так,

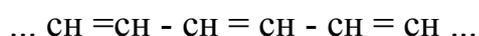
чтобы превратить линейный полимер из растворимого в полностью нерастворимый, достаточно образовать на одну макромолекулу 1-2 поперечные связи.

Важнейшие характеристики полимеров - химический состав, молекулярная масса и молекулярно-массовое распределение, степень разветвленности и гибкости макромолекул, стереорегулярность и другие. Свойства полимеров существенно зависят от этих характеристик.

Для удобства изучения связи состава, структуры со свойствами полимеров их можно классифицировать по различным признакам (составу, форме макромолекул, фазовому состоянию, полярности, отношению к нагреву).

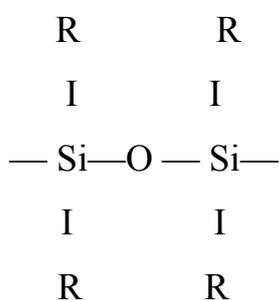
По составу все полимеры подразделяют на органические, элементоорганические и неорганические.

Органические полимеры составляют наиболее обширную группу соединений. Если основная молекулярная цепь таких соединений образована только углеродными атомами, то они называются карбоцепными полимерами. Углеродные атомы соединены с атомами водорода или органическими радикалами. В гетероцепных полимерах атомы других элементов, присутствующие в основной цепи, кроме углерода, существенно изменяют свойства полимера. Так, в макромолекулах атомы кислорода способствуют повышению гибкости цепи, что приводит к увеличению эластичности полимеров (например, для волокон, пленок), атомы фосфора и хлора повышают огнестойкость, атомы серы придают газонепроницаемость (для герметиков, резин), атомы фтора, даже в виде радикалов, сообщают полимеру высокую химическую стойкость и т. д. Некоторые карбоцепные и гетероцепные полимеры могут иметь сопряженную систему связей, например:



Такие полимеры более устойчивы при нагреве. Органическими полимерами являются смолы и каучуки.

Элементоорганические полимеры содержат в составе, основной цепи неорганические атомы кремния, титана, алюминия и других элементов, которые сочетаются с органическими радикалами (метальный, фенильный, этильный). Органические радикалы придают материалу прочность и эластичность, а неорганические атомы сообщают повышенную теплостойкость. В природе таких соединений не встречается. Представителями этой группы являются кремнийорганические соединения, разработанные советским ученым К. А. Андриановым. Строение этих соединений в основном имеет вид:



Между атомами кремния и кислорода существует прочная химическая связь. Отсюда и более высокая теплостойкость кремнийорганических смол, каучуков, хотя их упругость и эластичность меньше, чем у органических. Полимеры, содержащие в основной цепи титан и кислород, называются полтитаноксанами.

К неорганическим полимерам относятся силикатные стекла, керамика, слюда, асбест. В составе этих соединений углеродного скелета нет. Основу неорганических материалов составляют окислы кремния, алюминия, магния, кальция и др.

В силикатах существуют два типа связей: атомы в цепи соединены ковалентными связями (Si - O), а цепи между собой - ионными связями. Свойства этих веществ можно изменять в широких пределах, получая, например, из минерального стекла-волокна и эластичные пленки. Неорганические полимеры отличаются более высокой плотностью, высокой длительной теплостойкостью. Однако стекла и керамика хрупкие, плохо

переносят динамические нагрузки. К неорганическим полимерам относится также графит, представляющий собой карбоцепной полимер.

В конкретных технических материалах используются как отдельные виды полимеров, так и сочетание различных групп полимеров. Такие материалы называют композиционными (например, стеклопластики).

### **Состав, классификация и свойства пластмасс**

Обязательным компонентом пластмассы является связующее вещество. В качестве связующих для большинства пластмасс используются синтетические смолы, реже применяются эфиры целлюлозы. Многие пластмассы, главным образом термопластичные, состоят из одного связующего вещества, например полиэтилен, органические стекла и др.

Другим важным компонентом пластмасс является наполнитель (порошкообразные, волокнистые и другие вещества как органического, так и неорганического происхождения). После пропитки наполнителя получают полуфабрикат, который спрессовывается в монолитную массу. Наполнители повышают механическую прочность, снижают усадку при прессовании и придают материалу специфические свойства (фрикционные, антифрикционные и т. д.). Для повышения пластичности в полуфабрикат добавляют пластификаторы (органические вещества с высокой температурой кипения и низкой температурой замерзания, например олеиновую кислоту, стеарин, дибутилфталат и др.). Пластификатор сообщает пластмассе эластичность, облегчает ее обработку. Наконец, исходная композиция может содержать отвердители (различные амины) или катализаторы (перекисные соединения) процесса отверждения термореактивных связующих, ингибиторы, предохраняющие полуфабрикаты от их самопроизвольного отверждения, а также красители (минеральные пигменты и спиртовые растворы органических красок, служащие для декоративных целей).

Свойства пластмасс зависят от состава отдельных компонентов, их сочетания и количественного соотношения, что позволяет изменять характеристики пластиков в достаточно широких пределах.

По характеру связующего вещества пластмассы подразделяют на *термопластичные (термопласты)*, получаемые на основе термопластичных полимеров, и *термореактивные (реактопласты)* — на основе термореактивных смол. *Термопласты* удобны для переработки в изделия, дают незначительную усадку при формовании (1-3%). Материал отличается большой упругостью, малой хрупкостью и способностью к ориентации. Обычно термопласты изготовляют без наполнителя. В последние годы стали применять термопласты с наполнителями в виде минеральных и синтетических волокон (*органопласты*). *Реактопласты* после отверждения и перехода связующего в термостабильное состояние (пространственная структура) хрупки, часто дают большую усадку (до 10...15%) при их переработке, поэтому в их состав вводят усиливающие наполнители.

По виду наполнителя пластмассы делят на *порошковые* (пресс-порошки) с наполнителями в виде древесной муки, сульфитной целлюлозы, графита, талька, измельченного стекла, мрамора, асбеста, слюды, пропитанных связующими (часто их называют карболитами); *волокниты* с волокнистым наполнителем, пропитанного смолой (они делятся на асбоволокниты и стекловолокниты); *слоистые* получают прессованием (или намоткой) слоистых наполнителей, пропитанных смолой (например текстолит или гетинакс — это материалы, полученные прессованием кусков хлопчатобумажной ткани или бумаги, пропитанные смолой). Пластмассы со слоистыми, волокнистыми и порошковыми наполнителями имеют чаще всего термореактивные связующие, хотя имеются пластмассы с термопластичными связующими.

По применению пластмассы можно подразделить на силовые (конструкционные, фрикционные и антифрикционные, электроизоляционные) и несиловые (оптически прозрачные, химически

стойкие, электроизоляционные, теплоизоляционные, декоративные, уплотнительные, вспомогательные). Однако это деление условно, так как одна и та же пластмасса может обладать разными свойствами: например, полиамиды применяют в качестве антифрикционных и электроизоляционных материалов и т. д.

Пластмассы по своим физико-механическим и технологическим свойствам являются наиболее прогрессивными и часто незаменимыми материалами для машиностроения.

Недостатками пластмасс являются невысокая теплостойкость, низкие модуль упругости и ударная вязкость по сравнению с металлами и сплавами, а для некоторых пластмасс склонность к старению.

### **Термопластичные пластмассы**

Полимеры, которые многократно после нагревания становятся мягкими вплоть до жидкого состояния, а после охлаждения опять приобретают прочность, называются *термопластами*. В основе термопластичных пластмасс лежат полимеры линейной или разветвленной структуры, иногда в состав полимеров вводят пластификаторы. Термопластичные пластмассы применяют в качестве прозрачных органических стекол, высоко- и низкочастотных диэлектриков, химически стойких материалов. Из этих пластмасс изготавливают тонкие пленки и волокна. Термопласты могут перерабатываться литьем и экструзией, и обрабатываются формовкой, свариванием и всеми видами механической обработки. Детали, выполненные из таких материалов, имеют ограниченную рабочую температуру. Обычно при нагреве выше 60-70°C начинается резкое снижение их физико-механических характеристик, хотя более теплостойкие пластмассы могут работать при температуре 150-250°C. Термостойкие полимеры с жесткими цепями и циклической структуры устойчивы до 400-600°C.

## Неполярные термопластичные пластмассы

К неполярным пластикам относятся полиэтилен, полипропилен, полистирол и фторопласт-4.

Полиэтилен ( $-CH_2 - CH_2 -$ )<sub>n</sub> — продукт полимеризации бесцветного газа этилена, относящийся к кристаллизующимся полимерам.

По плотности полиэтилен подразделяют на полиэтилен низкой плотности, получаемый в процессе полимеризации *n* при высоком давлении (ПЭВД), содержащий 55 - 65% кристаллической фазы, и полиэтилен высокой плотности, получаемый при низком давлении (ПЭНД), имеющий кристалличность до 74 - 95%. Чем выше плотность и кристалличность полиэтилена, тем выше механическая прочность и теплостойкость материала. Теплостойкость полиэтилена невысока, поэтому длительно его можно применять при температурах до 60-100°C. Морозостойкость полиэтилена достигает -70°C и ниже. Полиэтилен химически стоек, и при комнатной температуре нерастворим ни в одном из известных растворителей. При нагревании устойчив к воде, к ацетону, к спирту. Недостатком полиэтилена является его подверженность старению. Для защиты от старения в полиэтилен вводят стабилизаторы и ингибиторы (2-3% сажи замедляют процессы старения в 30 раз). Под действием радиоактивного облучения полиэтилен твердеет, приобретает большую прочность и теплостойкость.

Полиэтилен применяют для изготовления труб, литых и прессованных несилловых деталей (вентили, контейнеры и др.), полиэтиленовых пленок для изоляции проводов и кабелей, чехлов, остекления парников, облицовки водоемов. Кроме того, полиэтилен служит покрытием на металлах для защиты от коррозии, влаги, электрического тока и др.

Полипропилен ( $-CH_2-CHCH_3-$ )<sub>n</sub> является производной этилена, относится к термопластам. Пропилен, как и этилен, содержится в нефтяных газах, а также в газах крекинга и пиролиза нефти. Получают его при давлениях до 0,3 МПа и температуре 50...70°C в присутствии металлоорганических катализаторов. Это жесткий нетоксичный материал с

высокими физико-механическими свойствами. Полипропилен обладает многими положительными качествами, присущими ПЭВП, и в меньшей степени его недостатками. По сравнению с полиэтиленом этот пластик более теплостоек: сохраняет форму до температуры 150°C. Это объясняется значительно большей молекулярной массой и большей степенью его кристалличности по сравнению с полиэтиленом. В отличие от полиэтилена полипропилен при обычной температуре имеет незначительную хладнотекучесть и может длительное время работать под нагрузкой при температуре 100°C, сохраняя форму. Полипропиленовые пленки прочны и более газонепроницаемы, чем полиэтиленовые, а волокна эластичны, прочны и химически стойки. Нестабилизированный полипропилен подвержен быстрому старению. Недостатком пропилена является его невысокая морозостойкость от (-10°C)...(- 20°C). Полипропилен обладает более высокой прочностью, жесткостью и теплостойкостью по сравнению с полиэтиленом в интервале температур от минус 10 до 150°C. Но при нагреве его прочностные показатели падают так же резко, как и у полиэтилена. Так, предел прочности для растяжения при температуре -20°C составляет 60 МПа, при температуре 20°C – 25...40 МПа, а при температуре 100°C - 10 МПа (для полиэтилена при температуре 100° С прочность равна 2 МПа). Морозостойкость полипропилена минус 35°C, прочность при растяжении 25...40 МПа, относительное удлинение при разрыве 200...800 %, ударная вязкость по Шарпи на образцах с надрезом 33...80 кДж/м<sup>2</sup>, плотность 0,9 г/см<sup>3</sup>.

Изделия из пропилена изготавливают центробежным способом, литьем под давлением или экструзией в атмосфере азота при температуре 150...250°C и давлении 7...20 МПа.

Химическая стойкость полипропилена благодаря его парафиновой структуре весьма высока выше, чем у полиэтилена.

Полипропилен применяют для изготовления труб, листов различной толщины, которые легко подвергаются штамповке, сопровождаемой глубокой вытяжкой, конструкционных деталей автомобилей, мотоциклов,

холодильников, корпусов насосов, различных емкостей, корпусов приборов и аппаратов, облицовочного материала, заменителя фарфора и фаянса и др. Пленки используют в тех же целях, что и полиэтиленовые.

**Полистирол** ( $-\text{CH}_2-\text{CHC}_6\text{H}_5-$ )*n*. Его получают путем полимеризации стирола по свободно радикальному и ионному механизмам реакции. Будучи неполярным, растворяется во многих неполярных растворителях (бензол), в то же время он химически стоек к кислотам и щелочам; нерастворим в спиртах, бензине, маслах, воде. Полистирол наиболее стоек к радиоактивному облучению по сравнению с другими термопластами. Полистирол - один из наиболее известных и достаточно хорошо изученных полимеров. Полистирол представляет собой бесцветный, твердый, стеклоподобный, термопластичный полимер преимущественно линейного строения. Он обладает хорошими оптическими свойствами, пропускает до 90 % лучей видимого спектра и легко окрашивается в различные цвета. Под действием УФ-лучей происходит помутнение и пожелтение полистирола, увеличивается его хрупкость. При температуре выше 80°C полистирол имеет каучукоподобный вид, при температуре 260...300°C подвергается деструкции с образованием стирола и других веществ. Полимер растворим в мономере, в ароматических углеводородах, сложных эфирах кетонах и др., но не растворяется в спирте, в бензине, простых эфирах, фенолах.

Полистирол отличается большой стойкостью к воде, щелочам, кислотам (особенно, галогеноводородным), но разрушается под действием концентрированной азотной и ледяной уксусной кислоты.

Недостатками полистирола являются его невысокая теплостойкость, склонность к старению, образование трещин.

**Ударопрочный полистирол** представляет собой блоксополимер стирола с синтетическим каучуком. Такой материал имеет в 3...5 раз более высокую прочность на удар и в 10 раз более высокое относительное удлинение по сравнению с обычным полистиролом.

Из полистирола изготавливают детали для радиотехники, телевидения, приборов, детали машин (корпуса, ручки и др.), детали автомобилей,

телевизоров, лодок, трубы, сосуды для воды и химикатов, пленки для электроизоляции. Полистирольные материалы находят широкое использование для упаковки пищевых продуктов и лекарственных препаратов, изготовления бутылей, посуды разового пользования, игрушек, авторучек и др. Полистирольные волокна, нити, пленки применяют в волоконной оптике (передача света и изображения по пучкам волокон), электротехнике и производстве армированных пластиков. Полистирол применяют для остекления зданий, изготовления декоративных стекол и цветных плиток для облицовки. Полистирол безвреден и широко применяется в пищевой промышленности как упаковочный материал. На полистирольные пленки легко наносить печать и подвергать их металлизации. В промышленности выпускаются многослойные пленки, слои которых состоят из полистирола, сополимеров стирола и полимеров на основе производных стирола, а также, разноцветные пленки. Например, в трехслойной пленке для молочной тары - внешние слои ее окрашены в белый цвет, а внутренний - черный, это обеспечивает качественную защиту молока от УФ-излучения и придает изделию привлекательный внешний вид. Многослойные полимерные пленки обладают жесткостью, термостойкостью, повышенной стойкостью к действию масел и жиров, низкой газопроницаемостью, светозащитными свойствами. Они, в основном, используются для упаковки пищевых и фармацевтических продуктов, выдерживающей нагрев ИК-лучами и токами сверхвысокой частоты. Упаковка из многослойных полистирольных пленок не боится сдавливания и удобна при складировании.

**Пенополистирол.** Смесь тонкодисперсного полистирола с порообразователями (например, с азонитрилом диизомаляновой кислоты) в прессовом виде при нагревании выше температуры размягчения полимера происходит разложение порообразователя с выделением газов, и полужидкая масса превращается в пенопласт. Охлажденный пенопласт представляет собой исключительно легкий (в 50 раз легче воды) водостойкий прочный материал с

превосходными электро-, тепло- и звукоизолирующими свойствами, который применяется как легкие и прочные конструкции в строительстве, холодильной технике, судостроении, машиностроении.

Полистиролы, пленки на их основе выпускается в России и других странах под разными торговыми названиями: норфлекс (Германия), гедекс, стирониль (Франция), каринекс, стирофлекс (Великобритания), сирен, дилен, полифлекс (США).

Термопласты могут быть перерабатываться литьем и экструзией, и обрабатываются формовкой, свариванием и всеми видами механической обработки.

**Реактопласты** (отвердевающие при нагревании необратимо) состоят из тесно сцепленных и «сшитых» молекул полимера, благодаря чему материал не деформируется даже под воздействием температуры. Высокая степень смешения и прочность связей делает материал твердым и хрупким с высокой стойкостью к растворителям. Первоначальные свойства и способность плавиться не восстанавливаются.

Отверждение реактопластов - результат химических реакций образования трехмерных полимеров (вследствие сшивания линейных молекул в пространственные структуры, происходящего с помощью сшивающих агентов или за счет активных групп самих полимеров). При повышении температуры до некоторого предела они незначительно изменяют свои свойства, а затем происходит их термодеструкция - разложение. Теплостойкость реактопластов - до 250-300°C. Прочность и твердость отвержденных реактопластов выше, чем у термопластов. Они отличаются также водостойкостью. Реактопластами являются поликонденсационные смолы:

- **Фенолформальдегидные**  $(-CH_2(OH)-CH_2-)_n$  — это смолы синтетического происхождения, имеющие свойства термореактопластов или реактопластов. Такие смолы являются олигомерными или жидкими веществами, полученными посредством поликонденсации формальдегида с

фенолом в кислой или же щелочной среде (резольные, новолачные смолы или бакелиты). Это в дальнейшем влияет на свойства конечного продукта. Фенолформальдегидная смола имеет высокую электроизоляционность, хорошую коррозионную и механическую устойчивость. Прекрасно растворяется в ароматических и алифатических углеводородах, кетонах и хлорсодержащих растворителях. Также растворяется в полярных растворах и водных растворах щелочей. После отверждения фенолформальдегидные смолы превращаются в густосшитые полимеры микрогетерогенной аморфной структуры.

- **Эпоксидные.** Эпоксидная смола представляет из себя вязкую смолу, которая после смешивания с отвердителем полимеризуется и переходит в твердую фазу. Отвердители, применяемые с эпоксидной смолой при комнатной температуре, в большинстве своем полиамины. До полимеризации в смолу можно вводить всевозможные твердые наполнители, которые будут менять в желаемую сторону свойства полученной пластмассы. Из эпоксидных смол готовят различные виды клея, пластмассы, электроизоляционные лаки, текстолит (с хлопчато-бумажной или стеклотканью, углеволокном), заливочные компаунды и пластоцементы.

Изготовление реактопластов, в отличие от термопластов, происходит с помощью порошкового прессформования. Предварительно порошок, из которого изготавливается данный полимер, засыпается в пресс-форму, где происходит прессование при определенной температуре и давлении. Данный способ изготовления полимерных материалов позволяет получить необходимое вещество с заданными характеристиками.

- **Полиуретаны** – это гетероцепные полимеры, относящиеся к синтетическим эластомерам. Полиуретан имеет уникальные свойства, чем и обусловлено его разностороннее применение. Не маловажным является то, что использовать данный полимер выгодно с экономической точки зрения. На сегодняшний день полиуретан в различных формах и видах нашел широкое распространение не только в промышленности, но и во многих

других сферах. Он используется, в том числе, при производстве различных декоративных элементов и защите поверхностей любых материалов от быстрого износа. Существует много видов полиуретанов с особыми характеристиками, но всех их объединяет наличие в макромолекуле уретановой группы  $-NHCOO-$ , а структура молекулярной цепи может сильно отличаться. Все зависит от строения, соотношения реагентов и молекулярного веса. Структура всех полиуретанов зависит от межмолекулярных взаимодействий в материале. При водородных связях атомы водорода уретановых групп являются донорами протонов. При диполь-дипольных взаимодействиях имеющиеся в структуре полиуретана группы (в том числе уретановые и мочевиновые) образуют межмолекулярные силы, в результате чего появляются ассоциаты. Причем образованная ассоциатами фаза усиливает структуру полиуретана, является его активным наполнителем. Именно благодаря этой особенности, на основе полиуретанов возможно получить материалы, обладающие повышенными конструктивными свойствами, такими как твердость, прочность, повышенное сопротивление на разрыв. И при этом не требуется введение дополнительных активных наполнителей.

Сильные взаимодействия обуславливают специфическую пространственную сетку полиуретанов. В обычных материалах (термопласты, пластмасса, волокна) пространственная сетка сформирована только физическими поперечными связями, поэтому данные материалы обладают твердостью и прочностью при обычной комнатной температуре. В полиуретанах пространственная сетка смешанная, имеются поперечные связи физического и химического происхождения. Именно поэтому данные материалы обладают высокими прочностными характеристиками при высоких температурах.

Благодаря возможности индивидуального подбора исходных веществ, получение полиуретанов с различной структурой и свойствами не составляет труда. У данных полимеров число поперечных связей, структуру

межмолекулярных взаимодействий и гибкость полимерных молекул можно регулировать изначально. Благодаря этому, на основе полиуретанов получают эластомеры (мягкой и твердой структуры), синтетические волокна, пеноматериалы (эластичные и жесткие), пластические массы и термореактивные покрытия.

Основной отличительной особенностью полиуретанов является то, что их механические свойства могут изменяться в очень широких пределах. Они зависят от характера взаимодействия (природы, длины участков цепей) между уретановыми группами, от структуры цепей (может быть сетчатой или линейной), от молекулярной массы и от степени кристалличности. Полиуретан может быть твердым веществом или вязкой жидкостью. Свойства полиуретана могут варьироваться от эластичных мягких резин, до жестких пластиков.

Любой полиуретан – это прочный, износостойкий, стойкий и устойчивый к набуханию практически в любых агрессивных средах материал. Основными особенностями полиуретанов являются:

- высокие физико-механические характеристики, они лучше, чем у резины, каучуков и металлов;
- способность обеспечить конкретные изделия уникальными свойствами, которых невозможно достичь при использовании любых других материалов;
- повышенная твердость, что позволяет применять его в изделиях, подвергающихся сильному механическому воздействию;
- сохранение эластичности при высокой прочности;
- высокая износостойкость, в том числе и абразивная износостойкость.

**Полиуретан** – это конструкционный материал, поэтому область применения в основном обусловлена его отличными механическими свойствами, а точнее, широким диапазоном прочностных характеристик. Различные промышленные детали машин, механизмы и приспособления

производятся из полиуретанов. Повышенные силовые нагрузки, воздействие агрессивных химических сред, пониженная или повышенная температура – вот те условия, при которых использование полиуретана обоснованно и необходимо. Он отлично подходит в качестве замены различных резиновых изделий.

Широко используется в строительстве, это одно из самых значимых в количественном выражении применений. Вспененный полиуретан (водостойкий, легкий и простой в использовании) находится на первом месте по объемам использования. Из него изготавливают декоративные элементы (колонны, карнизы) и многое другое. Также популярен жидкий полиуретан, из которого делают кровельное покрытие. Более того, полиуретан применяют в качестве связующего вещества при производстве древесных плит, полимербетонов, пенопластов, клеевых составов, различных покрытий. Широкое использование получил листовой полиуретан, из которого производят различные детали и материалы для промышленных применений.

### **Изготовление полимеров**

Природные полимеры образуются в процессе биосинтеза в клетках живых организмов. С помощью экстракции, фракционного осаждения и других методов они могут быть выделены из растительного и животного сырья. Синтетические полимеры получают полимеризацией и поликонденсацией. Карбоцепные полимеры обычно синтезируют полимеризацией мономеров с одной или несколькими кратными углеродными связями или мономеров, содержащих неустойчивые карбоциклические группировки (например, из циклопропана и его производных). Гетероцепные полимеры получают поликонденсацией, а также полимеризацией мономеров, содержащих кратные связи углеродоэлемента (например,  $C=O$ ,  $C=N$ ,  $N=C=O$ ) или непрочные гетероциклические группировки.

## **Использование полимеров в сельском хозяйстве**

Сегодня можно говорить по меньшей мере о четырех основных направлениях использования полимерных материалов в сельском хозяйстве. И в отечественной и в мировой практике первое место принадлежит пленкам. Благодаря применению мульчирующей перфорированной пленки на полях урожайность некоторых культур повышается до 30%, а сроки созревания ускоряются на 10-14 дней. Использование полиэтиленовой пленки для гидроизоляции создаваемых водохранилищ обеспечивает существенное снижение потерь запасаемой влаги. Укрытие пленкой сенажа, силоса, грубых кормов обеспечивает их лучшую сохранность даже в неблагоприятных погодных условиях. Но главная область использования пленочных полимерных материалов в сельском хозяйстве - строительство и эксплуатация пленочных теплиц. В настоящее время стало технически возможным выпускать полотна пленки шириной до 16 м, а это позволяет строить пленочные теплицы шириной в основании до 7,5 и длиной до 200 м. В таких теплицах можно все сельскохозяйственные работы проводить механизировано. Более того, эти теплицы позволяют выращивать продукцию круглогодично. В холодное время теплицы могут обогреваться с помощью полимерных труб, заложенных в почву на глубину 60-70 см.

С точки зрения химической структуры полимеров, используемых в тепличных хозяйствах такого рода, можно отметить преимущественное использование полиэтилена, непластифицированного поливинилхлорида и в меньшей мере полиамидов. Полиэтиленовые пленки отличаются лучшей светопрозрачностью, лучшими прочностными свойствами, но худшей погодоустойчивостью и сравнительно высокими теплотерями. Они могут исправно служить лишь 1-2 сезона. Полиамидные и другие пленки пока применяются сравнительно редко.

Другая область широкого применения полимерных материалов в сельском хозяйстве - мелиорация. Это и разнообразные формы труб и шлангов для полива, особенно для самого прогрессивного в настоящее время

капельного орошения; перфорированные пластмассовые трубы для дренажа. Срок службы пластмассовых труб в системах дренажа, в 3-4 раза дольше, чем соответствующих керамических труб. В добавок использование пластмассовых труб, особенно из гофрированного поливинилхлорида, позволяет почти полностью исключить ручной труд при прокладке дренажных систем.

Два остальных главных направления использования полимерных материалов в сельском хозяйстве - строительство, особенно животноводческих помещений, и машиностроение. В настоящее время весь крупный рогатый скот, а также овцы и козы носят в ушах своеобразные сережки - пластмассовые таблички с указанием основных данных о животных. Эта новая форма регистрации животных заменила применявшееся ранее клеймение, что признано специалистами негигиеничным.

Однако - главный потребитель чуть ли не всех материалов, производимых в нашей стране, в том числе и полимеров это промышленность. Использование полимерных материалов в машиностроении растет. Из полимеров стали изготавливать все больше относительно мелких, но конструктивно сложных и ответственных деталей машин и механизмов, и в то же время все чаще полимеры стали применяться в изготовлении крупногабаритных корпусных деталей машин и механизмов, несущих значительные нагрузки.

До недавних пор широкому использованию полимерных материалов в машиностроении препятствовали два, казалось бы, общепризнанных недостатка полимеров: их низкая (по сравнению с марочными сталями) прочность и низкая теплостойкость. Рубеж прочностных свойств полимерных материалов удалось преодолеть переходом к композиционным материалам, главным образом стекло и углепластикам. Так что теперь выражение "пластмасса прочнее стали" звучит вполне обоснованно. В то же время полимеры сохранили свои позиции при массовом изготовлении

огромного числа тех деталей, от которых не требуется особенно высокая прочность: заглушек, штуцеров, колпачков, рукояток, шкал и корпусов измерительных приборов. Еще одна область, специфическая именно для полимеров, - это область внутренней и внешней отделки.

То же самое можно сказать и о машиностроении. Почти три четверти внутренней отделки салонов легковых автомобилей, автобусов, самолетов, речных и морских судов и пассажирских вагонов выполняется из декоративных пластиков, синтетических пленок, тканей, искусственной кожи. Более того, для многих машин и аппаратов только использование антикоррозионной отделки синтетическими материалами обеспечило их надежную, долговременную эксплуатацию. К примеру, многократное использование изделия в экстремальных физико-технических условиях (космосе) обеспечивается, в частности, тем, что вся его внешняя поверхность покрыта синтетическими плитками, к тому же приклеенными синтетическим полиуретановым или полиэпоксидным клеем. У них внутри бывают такие агрессивные среды, что никакая марочная сталь не выдержала бы. Единственный выход - сделать внутреннюю облицовку из платины или из пленки фторопласта. Гальванические ванны могут работать только при условии, что они сами и конструкции подвески покрыты синтетическими смолами и пластиками.

Широко применяются полимерные материалы и в такой отрасли народного хозяйства, как приборостроение. Здесь получен самый высокий экономический эффект в среднем в 1,5- 2,0 раза выше, чем в других отраслях машиностроения. Объясняется это, в частности тем, что большая часть полимеров перерабатывается в приборостроении самыми прогрессивными способами, что повышает уровень полезного использования и безотходность отходов термопластов, увеличивает коэффициент замены дорогостоящих материалов. Наряду с этим значительно снижаются затраты живого труда. Простейшим и весьма убедительным примером может служить изготовление печатных схем.

Есть и другие подотрасли, где использование полимерных материалов обеспечивает и экономию материальных и энергетических ресурсов, и рост производительности труда. Практически все функциональные детали тормозных систем для автомобилей и около 45% для железнодорожного подвижного состава делаются из синтетических пресс-материалов. Около 50% деталей вращения и зубчатых колес изготавливается из прочных конструкционных полимеров. В последнем случае можно отметить две различных тенденции. С одной стороны, все чаще появляются сообщения об изготовлении зубчатых колес для тракторов из капрона. Эти шестерни могут работать почти без износа в контакте со стальными, вдобавок такая система не нуждается в смазке и почти бесшумна. Другая тенденция - полная замена металлических деталей в редукторах на детали из углепластиков. У них тоже отмечается резкое снижение механических потерь, долговременность срока службы.

Еще одна область применения полимерных материалов в машиностроении - изготовление металлорежущего инструмента. По мере расширения использования прочных сталей и сплавов все более жесткие требования предъявляются к обрабатываемому инструменту. И здесь тоже на выручку приходят пластмассы. Но не совсем обычные пластмассы сверхвысокой твердости, такие, которые смеют поспорить даже с алмазом.

Некоторые окислы (например из рода фианитов), нитриды, карбиды, уже сегодня демонстрируют не меньшую, чем у алмаза твердость, да к тому же и большую термостойкость. Вся беда в том, что они пока еще более дороги, чем природные и синтетические алмазы, да к тому же им свойственен «королевский порок» - они в большинстве своем хрупки. Поэтому сегодня три четверти абразивного инструмента выпускается с применением синтетических смол.

Кстати, те же преимущества стимулируют и широкое применение полимерных материалов в авиационной промышленности. Например, замена алюминиевого сплава графитопластиком при изготовлении предкрылка

крыла самолета позволяет сократить количество деталей, снизить вес на 22%, стоимость - на 25%. При этом запас прочности изделия составляет 178%. Лопастей вертолета, лопатки вентиляторов реактивных двигателей рекомендуют изготавливать из поликонденсационных смол, наполненных алюмосиликатными волокнами, что позволяет снизить вес самолета при сохранении прочности и надежности.

Оболочку двигателя ракет изготавливают из углепластика, наматывая на трубу ленту из углеволокна, предварительно пропитанную эпоксидными смолами. После отверждения смолы и удаления вспомогательного сердечника получают трубу с содержанием углеволокна более двух третей, достаточно прочную на растяжение и изгиб, стойкую к вибрациям и пульсации.

С точки зрения химической структуры, как и следовало ожидать, первые места по объему занимают стирольные пластики, поливинилхлорид и полиолефины. Пока еще немного уступают им, но активно догоняют полиуретаны, полиэферы, акрилаты и другие полимеры.

Широкое применение в оборудовании для хранения и переработки зерна нашло антиадгезионное износостойкое покрытие (АИП), которое уменьшает коэффициент трения между продуктом и стенками бункера, не адсорбирует посторонние запахи и позволяет защитить металлические бункера от коррозии, а железобетонные - от разрушения. Кроме того, при использовании АИП уменьшается температура - и теплопроводность ограждающей конструкции. Это, в свою очередь, позволяет предотвратить образование конденсата в пристенном слое зерна и зернопродуктов.

Антиадгезионное износостойкое покрытие применяется на предприятиях по хранению и переработке зерна, комбикормовых заводах, мельницах, крупозаводах.

## 2. КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

**Композиционные материалы** - неоднородный сплошной материал, состоящий из двух или более компонентов, среди которых можно выделить армирующие элементы, обеспечивающие необходимые механические характеристики материала, и матрицу (или связующее), обеспечивающую совместную работу армирующих элементов.

Механическое поведение композита определяется соотношением свойств армирующих элементов и матрицы, а также прочностью связи между ними. Эффективность и работоспособность материала зависят от правильного выбора исходных компонентов и технологии их совмещения, призванной обеспечить прочную связь между компонентами при сохранении их первоначальных характеристик.

В результате совмещения армирующих элементов и матрицы образуется комплекс свойств композита, не только отражающий исходные характеристики его компонентов, но и включающий свойства, которыми изолированные компоненты не обладают. В частности, наличие границ раздела между армирующими элементами и матрицей существенно повышает трещиностойкость материала, и в композитах, в отличие от металлов, повышение статической прочности приводит не к снижению, а, как правило, к повышению характеристик вязкости разрушения.

### **Преимущества композиционных материалов:**

- высокая удельная прочность;
- высокая жёсткость (модуль упругости 130...140 ГПа);
- высокая износостойкость;
- высокая усталостная прочность;
- из КМ возможно изготовить размеростабильные конструкции.

Причём, разные классы композитов могут обладать одним или несколькими преимуществами. Некоторых преимуществ невозможно добиться одновременно.

#### **Недостатки композиционных материалов:**

Большинство классов композитов (но не все) обладают недостатками:

- высокая стоимость;
- анизотропия свойств;
- повышенная наукоёмкость производства;
- необходимость специального дорогостоящего оборудования и сырья, следовательно развитого промышленного производства и научной базы страны.

#### **Состав и строение композита**

Композиты - многокомпонентные материалы, состоящие из полимерной, металлической, углеродной, керамической, армированной наполнителями из волокон, нитевидных кристаллов, тонкодисперсных частиц и др. Путем подбора состава и свойств наполнителя и матрицы (связующего), их соотношения, ориентации наполнителя можно получить материалы с требуемым сочетанием эксплуатационных и технологических свойств. Использование в одном материале нескольких матриц (полиматричные композиционные материалы) или наполнителей различной природы (гибридные композиционные материалы) значительно расширяет возможности регулирования свойств композиционных материалов. Армирующие наполнители воспринимают основную долю нагрузки композиционных материалов.

По структуре наполнителя композиционные материалы подразделяют на *волокнистые* (армированы волокнами и нитевидными кристаллами), *слоистые* (армированы пленками, пластинками, слоистыми наполнителями), *дисперсноармированные, или дисперсно-упрочненные* (с наполнителем в виде тонкодисперсных частиц). Матрица в композиционных материалах

обеспечивает монолитность материала, передачу и распределение напряжения в наполнителе, определяет тепло-, влаго-, огне- и химическую стойкость.

По природе матричного материала различают полимерные, металлические, углеродные, керамические и др. композиты.

Наибольшее применение в строительстве и технике получили композиционные материалы, армированные высокопрочными и высокомодульными непрерывными волокнами. К ним относят: полимерные композиционные материалы на основе терморезистивных (эпоксидных, полиэфирных, феноло-формальдегидных, полиамидных и др.) и термопластичных связующих, армированных стеклянными (стеклопластики), углеродными (углепластики), борными (боропластики) и другими волокнами; металлические композиционные материалы на основе сплавов Al, Mg, Cu, Ti, Ni, Cr, армированных борными, углеродными или карбидкремневыми волокнами, а также стальной, молибденовой или вольфрамовой проволокой; композиционные материалы на основе углерода, армированного углеродными волокнами (углерод-углеродные материалы); композиционные материалы на основе керамики, армированной углеродными, карбидокремневыми и другими жаростойкими волокнами и SiC. При использовании углеродных, стеклянных, арамидных и борных волокон, содержащихся в материале в количестве 50...70%, созданы композиции (см. таблице 2.1) с прочностью и модулем упругости в 2...5 раз большими, чем у обычных конструкционных материалов и сплавов. Кроме того, волокнистые композиционные материалы превосходят металлы и сплавы по усталостной прочности, термостойкости, виброустойчивости, шумопоглощению, ударной вязкости и др. свойствам. Так, армирование сплавов Al волокнами бора значительно улучшает их механические характеристики и позволяет повысить температуру эксплуатации сплава с 250...300 до 450...500°C. Армирование проволокой (из W и Mo) и волокнами тугоплавких соединений используют при создании жаропрочных

композиционных материалов на основе Ni, Cr, Co, Ti и их сплавов. Так, жаропрочные сплавы Ni, армированные волокнами, могут работать при температуре 1300...1350 °С.

Таблица 2.1- Свойства волокон, проволоки и нитевидных кристаллов для армирования композитных материалов

Материал	Температура плавления, °С	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Температурный коэффициент линейного расширения, 10 <sup>-6</sup> С <sup>-1</sup>	Предел прочности	Модуль упругости	Удельная прочность	Удельная жесткость
				Кгс/мм <sup>2</sup>		км	
<b>Волокно:</b>							
борное	2040	2,63	6,3	250-350	3800-42 000	95-133	14 445-15 969
углеродное	3000	1,70	-1,0	200-300	20 000-30 000	117-176	11 764-17 410
карбида кремния	2827	3,21	4,7	200-400	46 000	62-124	14 330
окиси алюминия	2054	3,96	8,0	210-260	50 000	52-65	12 626
окиси циркония	2677	6,27	7,7	240-270	47 000	39-43	7 496
<b>Проволока:</b>							
бериллиевая	1284	1,84	10,0	100-130	29 000	55-65	15 760
вольфрамовая	3400	19,3	4,98	420	40 000	21	2070
стальная	1300	7,80	11,0	360-400	20 000	45-51	2 564
титановая	1668	4,50	9,2	150-200	12 000	33-41	2 665
<b>Нитевидные кристаллы:</b>							
окиси алюминия	2054	3,96	6—9	2800	50 000	710	12 600
нитрида алюминия	2400	3,30	4—6	1500	38 000	455	И 500
карбида кремния	2650	3,21	5,9	3700	58 000	1150	18 000
нитрида кремния	1900	3,18	2,75	1500	49 500	472	15 600

При изготовлении металлических волокнистых композиционных материалов нанесение металлической матрицы на наполнитель осуществляют в основном из расплава материала матрицы, электрохимическим осаждением или напылением. Формование изделий

проводят методом пропитки каркаса из армирующих волокон расплавом металла под давлением до 10 МПа или соединением фольги (матричного материала) с армирующими волокнами с применением прокатки, прессования, экструзии при нагревании до температуры плавления материала матрицы.

Один из общих технологических методов изготовления полимерных, металлических волокнистых и слоистых композиционных материалов - выращивание кристаллов наполнителя в матрице непосредственно в процессе изготовления деталей. Такой метод применяют, например, при создании эвтектических жаропрочных сплавов на основе Ni и Co. Легирование расплавов карбидными и интерметаллическими соединениями, образующими при охлаждении в контролируемых условиях волокнистые или пластинчатые кристаллы, приводит к упрочнению сплавов и позволяет повысить температуру их эксплуатации на 60...80 °С. Композиционные материалы на основе углерода сочетают низкую плотность с высокой теплопроводностью, химической стойкостью, постоянством размеров при резких перепадах температур, а также с возрастанием прочности и модуля упругости при нагреве до 2000 °С в инертной среде. Высокопрочные композиционные материалы на основе керамики получают при армировании волокнистыми наполнителями, а также металлическими и керамическими дисперсными частицами. Армирование непрерывными волокнами SiC позволяет получать композиционные материалы, характеризующиеся повышенной вязкостью, прочностью на изгиб и высокой стойкостью к окислению при высоких температурах. Однако армирование керамики волокнами не всегда приводит к значительному повышению ее прочностных свойств из-за отсутствия эластичного состояния материала при высоком значении его модуля упругости. Армирование дисперсными металлическими частицами позволяет создать керамико-металлические материалы (керметы), обладающие повышенной прочностью, теплопроводностью, стойкостью к тепловым ударам. При изготовлении керамические композиционные

материалы обычно применяют горячее прессование, прессование с последующим спеканием, шликерное литье. Армирование материалов дисперсными металлическими частицами приводит к резкому повышению прочности, вследствие создания барьеров на пути движения дислокаций. Такое армирование главным образом применяют при создании жаропрочных хромоникелевых сплавов. Материалы получают введением тонкодисперсных частиц в расплавленный металл с последующей обычной переработкой слитков в изделия. Введение, например,  $\text{ThO}_2$  или  $\text{ZrO}_2$  в сплав позволяет получать дисперсно-упрочненные жаропрочные сплавы, длительно работающие под нагрузкой при температуре  $1100\text{...}1200^\circ\text{C}$  (предел работоспособности обычных жаропрочных сплавов в тех же условиях –  $1000\text{...}1050^\circ\text{C}$ ). Перспективное направление создания высокопрочных композиционных материалов - армирование материалов нитевидными кристаллами («усами»), которые вследствие малого диаметра практически лишены дефектов, имеющих в более крупных кристаллах, и обладают высокой прочностью, наибольший практический интерес представляют кристаллы  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{BeO}$ ,  $\text{SiC}$ ,  $\text{B}_4\text{C}$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{AlN}$  и графита диаметром  $1\text{...}30$  мкм и длиной  $0,3\text{...}15$  мм. Используются такие наполнители в виде ориентированной пряжи или изотропных слоистых материалов наподобие бумаги, картона, войлока. Композиционные материалы на основе эпоксидной матрицы и нитевидных кристаллов  $\text{ThO}_2$  (30% по массе) имеют раст  $0,6$  ГПа, модуль упругости  $70$  ГПа. Введение в композицию нитевидных кристаллов может придавать ей необычные сочетания электрических и магнитных свойств. Выбор и назначение, композиционных материалов во многом определяются условиями нагружения и температурой эксплуатации детали или конструкции, технологическими возможностями. Большая номенклатура матриц в виде терморезистивных и термопластических полимеров обеспечивает широкий выбор композиционных материалов для работы в диапазоне от отрицательных температур до  $100\text{...}200^\circ\text{C}$  - для органических полимеров, до  $300\text{...}400^\circ\text{C}$  - для стекло-, угле- и боропластиков.

Полимерные композиционные материалы с полиэфирной и эпоксидной матрицей работают до 120...200°C, с феноло-формальдегидной - до 200...300 °C, полиамидной и кремнийорганической - до 250...400°C. Металлические композиционные материалы на основе Al, Mg и их сплавов, армированные волокнами из B, C, SiC, применяют до 400...500°C; композиционные материалы на основе сплавов Ni и Co работают при температуре до 1100...1200°C, на основе тугоплавких металлов и соединений - до 1500...1700°C, на основе углерода и керамики - до 1700...2000 °C. Использование композитов в качестве конструкционных, теплозащитных, антифрикционных, радио - и электротехнических и других материалов позволяет снизить массу конструкции, повысить ресурсы и мощности машин и агрегатов, создать принципиально новые узлы, детали и конструкции. Все виды композиционных материалов применяют в химической, текстильной, горнорудной, металлургической промышленности, машиностроении, на транспорте, для изготовления спортивного снаряжения и т.д.

### **Композиционные материалы с неметаллической матрицей**

Композиционные материалы с неметаллической матрицей нашли широкое применение. В качестве неметаллических матриц используют полимерные, углеродные и керамические материалы. Из полимерных матриц наибольшее распространение получили эпоксидная, фенолоформальдегидная и полиамидная. Угольные матрицы коксованные или пироуглеродные получают из синтетических полимеров, подвергнутых пиролизу. Матрица связывает композицию, придавая ей форму. Упрочнителями служат волокна: стеклянные, углеродные, борные, органические, на основе нитевидных кристаллов (оксидов, карбидов, боридов, нитридов и других), а также металлические (проволоки), обладающие высокой прочностью и жесткостью. Свойства композиционных материалов зависят от состава компонентов, их сочетания, количественного соотношения и прочности связи между ними. Армирующие материалы могут быть в виде волокон, жгутов, нитей, лент,

многослойных тканей. Содержание упрочнителя в ориентированных материалах составляет 60-80%, в неориентированных (с дискретными волокнами и нитевидными кристаллами) 20-30%. Чем выше прочность и модуль упругости волокон, тем выше прочность и жесткость композиционного материала. Свойства матрицы определяют прочность композиции при сдвиге, сжатии и сопротивлении усталостному разрушению. По виду упрочнителя композиционные материалы классифицируют на стекловолокниты, карбоволокниты с углеродными волокнами, борволокниты и органоволокниты. В слоистых материалах волокна, нити, ленты, пропитанные связующим слоем, укладываются параллельно друг другу в плоскости укладки. Плоские слои собираются в пластины. Свойства получаются анизотропными. Для работы материала в изделии важно учитывать направление действующих нагрузок. Можно создать материалы, как с изотропными, так и с анизотропными свойствами. Можно укладывать волокна под разными углами, варьируя свойства композиционных материалов. От порядка укладки слоев по толщине пакета зависят изгибные и крутильные жесткости материала. Применяется укладка упрочнителей из трех, четырех и более нитей. Наибольшее применение имеет структура из трех взаимно перпендикулярных нитей. Упрочнители могут располагаться в осевом, радиальном и окружном направлениях. Трехмерные материалы могут быть любой толщины в виде блоков, цилиндров. Объемные ткани увеличивают прочность на отрыв и сопротивление сдвигу по сравнению со слоистыми материалами. Система из четырех нитей строится путем разложения упрочнителя по диагоналям куба. Структура из четырех нитей равновесна, имеет повышенную жесткость при сдвиге в главных плоскостях. Однако создание четырехнаправленных материалов сложнее, чем трехнаправленных.

## Классификация композитных материалов

Расширение работ по созданию и исследованию композиционных материалов привело к необходимости упорядочения и усовершенствования терминологии, а также к выделению основных, существенных признаков композиционных материалов. Возможность решения этой задачи связана с разработкой классификации, которую, в свою очередь, надо начинать с основных определений (рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 - Классификация композитных материалов

Композиционными называются материалы, обладающие следующей совокупностью признаков:

1. Состав, форма и распределение компонентов материала «запроектированы» заранее;
2. Материал не встречается в природе, а является созданием человека;
3. Материал состоит из двух или более компонентов, различающихся по своему химическому составу и разделенных в материале выраженной границей;
4. Свойства материала определяются каждым из его компонентов, которые в связи с этим должны присутствовать в материале в достаточно больших количествах (больше некоторого критического содержания);

5. Материал обладает такими служебными свойствами, которых не имеют его компоненты, взятые в отдельности;

6. Материал является неоднородным в микромасштабе и однородным в макромасштабе.

Последний признак предполагает тот факт, что любые произвольно выбранные элементарные образцы композиционного материала, т. е. такие образцы, все размеры которых существенно превышают минимальные размеры компонентов материала, должны иметь в среднем один и тот же химический состав. Таким образом, композиционные материалы характеризуются «повторяющейся» геометрией или равномерным распределением компонентов по отношению друг к другу. Этот признак позволяет исключить из класса композиционных материалов биметаллы, детали с покрытиями, сотовые изделия и т. п., являющиеся скорее конструкциями, чем материалами. Этот же признак позволяет уточнить понятие элементарного образца композиционного материала - такого минимального объема материала, который характеризуется всем комплексом определяющих его признаков.

В самом общем случае элементарный образец композиционного материала должен иметь все три размера, существенно превышающие минимальный размер компонентов. С этих позиций такие объекты, как моноволокно, окруженное достаточным количеством второго компонента, или монослой из волокон, объединенных вторым компонентом, не являются элементарными образцами композиционного материала. На самом деле, например, реальное механическое поведение микрообразцов в виде волокон с покрытием или монолент при различных видах нагружения (например, при изгибающем циклическом нагружении) существенно отличается от механического поведения элементарных или более крупных образцов композиции, характерной чертой которых является равномерное распределение нагрузки на более прочном и жестком компоненте и

торможение развития разрушающей трещины на внутренних поверхностях раздела.

В связи с изложенным следует отметить, что для микрообразцов материала, представляющих собой элементарную ячейку композиционного материала или их простую совокупность, в полной мере не выполняется условие, заключенное в признаке 5 определения композиционного материала.

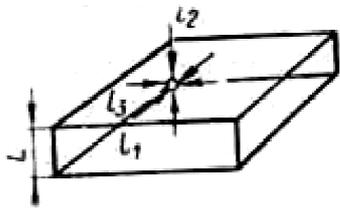
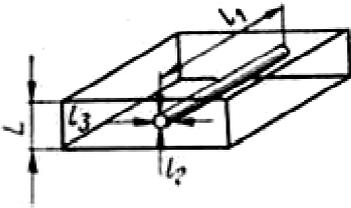
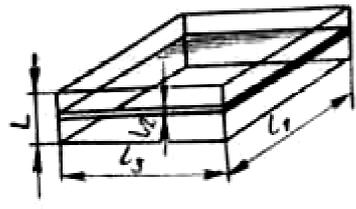
В большинстве случаев компоненты композиции различаются по геометрическому признаку: так, например, один из компонентов может быть непрерывным по всему объему композиции или в объеме, существенно превышающем объем минимальных составляющих второго компонента. В этом случае непрерывный компонент называется матричным; компонент же, являющийся прерывистым, разъединенным в объеме композиционного материала, следует называть армирующим (смысл термина «армирующий» расширяется в этом случае до «введенный в материал с целью изменения его свойств», а не только «упрочняющий», как его обычно понимают). Деление компонентов композиции на матричный и армирующий не имеет смысла, если оба компонента равнозначны по геометрическому признаку (например, для слоистых композиций, состоящих из чередующихся слоев из двух металлических сплавов).

Для композиционных материалов были выбраны следующие классификационные признаки:

1. Геометрия компонентов;
2. Расположение компонентов (схема армирования);
3. Природа компонентов.

По геометрии компонентов композиционные материалы могут быть разделены на три основные группы (таблица 2.2).

Таблица 2.2- Классификация композитных материалов по геометрии  
компонентов

Наименование компонента	Геометрия компонента	Соотношение размеров
Нуль-мерный		$\frac{l_1}{L} \ll 1; \frac{l_2}{L} \ll 1; \frac{l_3}{L} \ll 1$
Одномерный		$\frac{l_1}{L} \sim 1; \frac{l_2}{L} \ll 1; \frac{l_3}{L} \ll 1$
Двумерный		$\frac{l_1}{L} \sim 1; \frac{l_2}{L} \ll 1; \frac{l_3}{L} \sim 1$

Композиционные материалы с нуль-мерными компонентами, имеющими все три размера одного и того же порядка и, следовательно, с учетом признака б не имеющими ни одного размера, соизмеримого с характерным размером элементарного образца композиционного материала. Примерами композиций этой группы могут служить дисперсноупрочненные материалы, металлы и сплавы, армированные частицами, материалы на основе керамики, содержащие в своем составе короткие нитевидные кристаллы (длина которых много меньше характерного размера элементарного образца композиционного материала) и т. п.

Композиционный материал с одномерными компонентами, один из размеров которых значительно превышает два других, и соизмерим с характерным размером элементарного образца композиции. Примером этой группы материалов являются волокнистые композиционные материалы на

основе полимеров, металлов и т. п., армированные стекловолокнами, борными, углеродными, керамическими и другими волокнами.

Композиционные материалы с двухмерными компонентами, два размера которых значительно превышают третий и соизмеримы с характерным размером элементарного образца композиционного материала; примером материалов этой группы являются слоистые материалы, например композиции, состоящие из чередующихся слоев титана и алюминия или их сплавов.

Для обозначения нуль-мерных, одномерных и двухмерных компонентов композиционных материалов могут быть приняты соответствующие индексы  $0^*$ , 1 и 2.

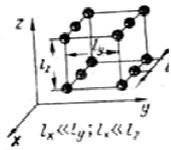
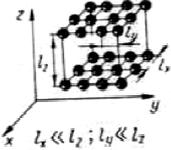
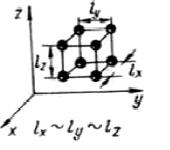
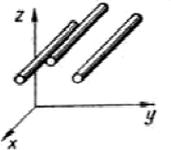
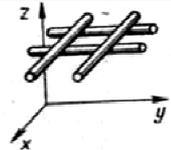
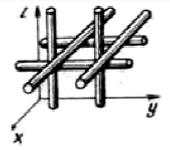
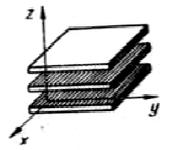
Возможны случаи, когда композиция содержит два или три армирующих компонента различной геометрии: например, пластик на основе эпоксидной или полиимидной смолы, армированный углеродными волокнами (одномерный компонент) и короткими нитевидными кристаллами карбида кремния (нуль-мерный компонент), или композиция на основе алюминия, армированного борными волокнами (одномерный компонент) и слоями титановой фольги (двухмерный компонент). Такие композиционные материалы следует называть комбинированными.

По расположению компонентов (схеме армирования) композиционные материалы могут быть разделены на три группы (таблица 2.3).

Композиции с одноосным (линейным) расположением армирующего компонента, составляющие которого в виде волокон, проволок или ориентированных цепочек нитевидных кристаллов распределяются в матрице параллельно друг другу.

Такая схема армирования может быть осуществлена с помощью нуль-мерных или одномерных компонентов и обозначается  $0^* : 0 : 0$  или  $1:0:0$  (компонент расположен вдоль оси  $x$ ).

Таблица 2.3 – Классификация композитных материалов по расположению компонентов (схеме армирования)

Геометрия компонента		Расположение компонентов					
Наименование	Обозначение	Одноосное (линейное)		Двухосное (плоскостное)		Трехосное (объемное)	
		Схема	обозначение	Схема	обозначение	Схема	обозначение
Нульмерный	0*		0*:0:0		0*:0*:0		0*:0*:0*
Одномерный	1		1:0:0		1:1:0		1:1:1
Двумерный	2	-	-		2:2:0	-	-

### 3. РЕЗИНА

Благодаря высокой эластичности и упругости, способности поглощать вибрации и ударные нагрузки, хорошей механической прочности и сопротивлению истиранию, электроизоляционным и другим свойствам резина является незаменимым материалом.

Для получения резины основным компонентом является каучук, который, соединяясь в процессе вулканизации с вулканизирующим веществом, образует резину.

Резину получают вулканизацией резиновой смеси. Любая резиновая смесь содержит каучук и вулканизирующее вещество — серу (в шинной резиновой смеси серы содержится до 3 % веса каучука). Процесс вулканизации заключается в нагреве резиновой смеси до определенной температуры и выдержке ее при этой температуре в течение времени, достаточного для того, чтобы атомы серы соединили в некоторых местах молекулы каучука (имеющего линейную структуру), образовав резину — материал с пространственной структурой молекул, обладающий новыми свойствами, отличающимися от свойств каучука. Температура вулканизации должна быть выше температуры плавления серы (120°C), но ниже температуры плавления каучука (180...200°C). Каучук подразделяют на натуральный (НК) и синтетический (СК).

Натуральный каучук добывают из млечного сока (латекса) каучуконосного дерева гевеи, а также каучуконосных растений (кок-сагыз, тау-сагыз), содержащих латекс в корнях. Молекула натурального каучука состоит из звеньев легколетучего углеводорода — изопрена и имеет всюду одинаковую (регулярную) микроструктуру. В отечественном шинном производстве из него изготавливают только отдельные детали шины или же он используется в качестве добавки к резиновой смеси. Синтетический каучук, который был получен советским ученым в 1931 г. по методу, разработанному академиком С. В. Лебедевым.

Синтетический каучук получают в основном из природного и попутного нефтяных газов, а также отдельных углеводородных фракций нефтепереработки.

### **Основные виды резины**

Применение резины в машиностроении обусловливается ее ценными свойствами. Резина обладает высокой упругостью и способностью поглощать вибрации, хорошо сопротивляться истиранию и многократному изгибу. Резина газо- и гидронепроницаема, стойка против воздействия масел, жидкого топлива и ряда других сред. Резина является диэлектриком. Резина в готовом изделии находится в термостабильном состоянии, она нерастворима (но обладает способностью набухать) в растворителях и не пластична. Исходная же невулканизированная резиновая смесь обладает хорошей пластичностью, обеспечивающей возможность формообразования разнообразных изделий.

Свойства вулканизированных резин в значительной степени определяются характеристикой каучуков.

Резины из СКВ (синтетического бутадиенового каучука) имеют удовлетворительную механическую прочность и морозостойкость, ограниченную теплостойкость, сравнительно малую эластичность, легкую окисляемость, ограниченную химическую стойкость и газонепроницаемость. Резина применяется для изготовления почти всех видов резиновых деталей, особенно для изготовления автомобильных шин.

В настоящее время изготавливается несколько разновидностей синтетических каучуков, отличающихся механической прочностью, химической стойкостью, газопроницаемостью, термостойкостью и другими свойствами: *натрий-бутадиеновый (СКВ)*, первый в мире промышленный синтетический каучук, изготовлялся из этилового спирта на базе пищевых крахмалосодержащих продуктов. Выпуск прекращен с 1964 г.; *бутадиен-стирольный (СКС)* самый распространенный синтетический каучук, который получают сополимеризацией

бутадиена и стирола. Обладает достаточной прочностью и износостойкостью; *бутилкаучук* получают сополимеризацией изопрена и изобутилена, характеризуется высокой газопроницаемостью и химической стойкостью; *полиуретановые* каучуки отличаются высокой износостойкостью; *полихлоропреновые* каучуки обладают высокой бензомасло-стойкостью; *силиконовый* (кремнийорганический) каучук (СКТ) сохраняет свои свойства при температурах от  $-70^{\circ}\text{C}$  до  $+400^{\circ}\text{C}$ , превосходя по термостойкости натуральный каучук; *изопреновые* (СКИ) и *дивиниловые* (СКД) каучуки обладают эластичностью, которая приблизилась к показателям натурального каучука, а по некоторым другим свойствам превосходят натуральный.

Кроме каучука и вулканизирующего вещества, в состав резиновой смеси входят и другие компоненты (ингредиенты), придающие резинам определенные свойства:

- ускорители вулканизации (альтакс, каптакс, тиурам в количестве 1...2 % от веса каучука) сокращают время вулканизации и повышают качество резины;
- усилители (активные наполнители) - сажа, каолин, цинковые белила и др. в количестве до 50 % от веса каучука. Служат для улучшения свойств резины;
- неактивные наполнители (отмученный мел, асбестовая мука) в количестве 30...40 % от веса каучука вводятся для удешевления резины без заметного ухудшения ее свойств;
- противостарители (сантофлекс А, неозон Д) в количестве 0,5...2,5 % от веса каучука вводятся для замедления старения резины под воздействием кислорода воздуха, солнечных лучей и других факторов;
- мягчители и пластификаторы (стеариновая кислота, мазут, вазелиновое масло, сосновая смола и др.) в количестве от 3 до 20 % веса каучука улучшают смешиваемость компонентов резиновой смеси и делают ее более пластичной и липкой;

- красители используются для окрашивания светлых резиновых смесей в соответствующие цвета. Применяются пигменты минерального и органического происхождения;
- регенерат - резина из утильных покрышек, камер для замены каучуковой составляющей резиновой смеси.

Определяющее влияние на свойства резин оказывает каучуковая основа, от которой зависят их физико-механические, прочностные, защитные и другие свойства. В таблице 3.1 приведены вулканизирующие системы для резиновых смесей на основе различных каучуков.

Таблица 3.1- Вулканизирующие системы для резиновых смесей на основе различных каучуков

Содержание серы, масс. ч.	Содержание ускорителей, масс. ч.	
	первичного	вторичного
<b>Резиновые смеси на основе ПИ</b>		
1.0-0,3	МВТ или ДБТД (1,0-2,0)	ГМТД (2,5-3,5)
1.0-0,5	ГМТД или ТЕТД (2,0-4,0)	МБТ, ДБТД, ЦБС (0-1,5)
1,5-0,8	МБТЦ (1,5-2,0)	ГМТД (0,5-0,7)
1,5-1,0	ЦБС или ОБС (1,0-2,5)	ГМТД или ГМТМ (0,1-0,3)
1,0-3,0	ГМТД, ТЕТД, ТМТМ (0,1-1,0)	МБТ или ДБТД (0-1,0)
1,0-3,0	ДТК (0,2-0,8)	МБТ, ДБТД, ЦБС, ОБС (0-2,0)
1,5-3,0	ЦБС или ОБС (0,4-2,0)	ДТК (0-0,2)
1,5-3,0	ДФГ (0,05-0,5)	МБТ, ДБТД, ЦБС, ОБС (0,5-1,2)
1,5-3,5	МБТ или ДБТД (1,0-2,0)	ДТК (0-0,15)
1,8-3,0	ЦБС или ОБС (0,5-1,2)	ДФГ (0-0,4) или ТМТМ(0-0,2)
2,0-3,0	МБТ или ДБТД (0,7-1,5)	ГМТД или ГМТМ (0,05-0,3)
1,0-3,0	МБТ, МБТЦ, ДБТД (0,8-1,2)	ДФГ (0,2-0,4)
1,0-3,0	МБТ, МБТЦ (1,0-2,0)	—
2,0-3,0	ЦБС или ОБС (0,4-0,9)	МБТ или ДБТД (0-0,3)
1,0-3,5	ДТКЦ (0,1-0,3)	МБТ или ДБТД (0,3-0,8)
<b>Резиновые смеси на основе БСК</b>		
0-0,5	ГМТД, ТЕТД, ТМТМ (2,0-5,0)	МБТ или ДБТД (0-1,0)
0,5-1,0	ЦБС (1,0-3,0)	ГМТД (0,2-0,7)
1,0-2,5	ГМТД, ТЕТД, ТМТМ(0,3-1,0)	МБТ или ДБТД (0-1,5)
1,0-2,5	ЦБС или ОБС (1,0-1,7)	ГМТМ или ДФГ (0-0,8)
1,0-2,5	ДТКЦ (0,3-0,7)	МБТ, ДБТД, ЦБС, ОБС(0-1,0)
1,0-3,0	ЦБС (0,3-0,6)	ДБТД (0,2-0,8)
1,5-2,2	ОБС или ЦБС (0,5-1,5)	ДТКЦ (0-0,2)
1,5-2,5	МБТ, МБТЦ, ДБТД(1,0-2,0)	ГМТД или ГМТМ (0,1-0,3) или ДФГ (0,2-0,8) или ЦБС(0,2-1,0)
2,0-3,0	МБТ или ДБТД (1,0-2,5)	ДТКЦ (0-0,4)

Продолжение таблицы 3.1.

Содержание серы, масс ч.	Содержание ускорителей, масс. ч.	
	первичного	вторичного
<b>Резиновые смеси на основе БНК</b>		
0-0,5	ТМТД или ТЕТД (2,5-5,0)	МБТ (0-1,0) или ЦБС (1,0-2,0)
0,5-1,0	ОБС (1,0-3,0)	ТМТД (0,2-0,8)
0,5-1,0	ЦБС (0,3-0,8)	ДБТД (0,5-1,0)
0,5-1,0	ТМТМ (0,2-3,0)	ДБТД (1,0-2,0)
1,0-2,0	МБТ (1,0-1,5)	ДТКЦ (0-0,3)
1,0-2,5	ТМТД или ТМТМ (0,3-1,0) МБТ или	ДБТД (0-1,0)
1,0-3,0	ДТКЦ (0,3-0,8)	ОБС (0,5-2,0)
1,0-3,5	ДБТД (0,4-1,5)	ДТКЦ (0,1-0,4)
1,5-1,8	ДБТД (1,2-1,5)	—
1,5-2,2	ОБС (0,5-1,5)	ДТКЦ (0-0,2)
1,5-2,4	ЦБС или ОБС (1,0-1,5)	ДФГ (0-0,4) или ТМТМ(0-0,2)
1,5-2,5	МБТ или ДБТД (1,0-1,5)	ТМТД или ТМТМ (0,1-0,3)
2,0-2,5	МБТ (1,2-1,6)	ДФГ (0,2-0,5)
2,0-3,0	МБТ (0,8-1,0)	ДТКЦ (0,1-0,2)
2,0-3,5	ДБТД (1,5-2,5)	ДТКЦ (0-1,0)
<b>Резиновые смеси на основе ЭПТ</b>		
0,5-1,8	ТМТМ (0,5-1,5) или ДТК(0,5-3,0)	МБТ, ДБТД, ЦБС, ОБС(0,5-2,0)
1,2-1,8	ТМТД или ДМДТК цинка (1,0-2,0)	МБТ, ДБТД, ЦБС, ОБС (0,5-2,0)
2,0	ТМТД (1,5-2,0)	МБТ (0,5) + ДТКЦ (0-1,0)
2,0-2,5	ТМТД (1,0-1,5)	МБТ (0,5-1,0)
<b>Резиновые смеси на основе БК</b>		
0-1,0	ТМТД (3,0-5,0)	Тиазол (0-1,0)
1,0-2,0	ТМТД, ТЕТД, ТМТМ (1,0-2,0)	Тиазол (0,5) + ДТКЦ (0-1,0 или тиазол (0,5—1,5)
1,0-2,0	ДТК (1,0-3,0)	МБТ (0,5-1,0) или ДБТД(0,5-2,0)
1,0-2,5	МБТ (0,5-1,5)	ТМТД (0,5-1,5) или ДМДТЬ цинка (0,5—1,0)
1,5-2,0	МБТ + ТМТД (60:40) (1,5-2,0)	ДТКЦ (0,5-1,0)

### Механические свойства резин

Применение резины в качестве конструкционного материала обусловлено прежде всего ее уникальной способностью деформироваться на сотни процентов без разрушения под действием небольших механических нагрузок, изменять форму при механическом нагружении, сохраняя постоянный объем, восстанавливать исходную форму после удаления нагрузки, поглощать в процессе деформирования и рассеивать при последующем восстановлении механическую энергию.

Механические свойства резин принципиально отличаются от свойств металлов, которые сохраняют упругость при деформации не более одного процента и характеризуются высоким сопротивлением деформированию. Пластические массы и химические волокна в отличие от резин не способны к быстрому восстановлению формы после устранения механического нагружения.

Механические свойства резин обусловлены их высокоэластичностью и релаксационными свойствами, т. е. зависимостью напряжения от времени действия нагрузки и скорости деформирования. Эти свойства резин проявляются при статическом и динамическом нагружении.

Изучение механических свойств резин основано на рассмотрении их физической и химической структуры, природы высокоэластической деформации, релаксационных процессов. И хотя в многочисленных работах исследовалась зависимость между структурой и свойствами эластомеров на молекулярном или надмолекулярном уровнях, полученные результаты все еще не позволяют конкретно предсказать механические характеристики резин, являющихся композициями сложного состава. Поэтому в большинстве случаев теоретические представления позволяют объяснить особенности механического поведения конкретных резин, но не могут служить достаточной основой для создания резин с заданными механическими свойствами.

### **Механические свойства резин при статическом нагружении**

Различают прочностные и упругорелаксационные свойства резин при статическом нагружении. Показатели прочностных свойств характеризуют способность материала сопротивляться разрушению под действием механических напряжений. Обычно определяют прочность при растяжении ( $f_p$ ) и сопротивление раздиру ( $B$ ). Упругорелаксационные свойства характеризуются показателями жесткости, ползучести, релаксации напряжения.

Показатели прочностных свойств при растяжении чаще всего используют в качестве критерия для сравнительной оценки различных резин и контроля их качества. Однако в действительности срок службы многих резиновых изделий пропорционален прочности при растяжении и сопротивлению раздиру резин. Например, износостойкость резиновой обкладки конвейерных лент общего назначения, деформация, которой ограничена армирующим материалом, пропорциональна прочности резины при растяжении. Долговечность большинства резиновых силовых и противоударных изделий, опор, патрубков и амортизаторов возрастает при повышении прочности резин. Снижение сопротивления раздиру приводит к разрушению уплотнений из-за выдавливания резины в зазор между сопрягаемыми поверхностями. Показатель прочности при растяжении отражает такие особенности структуры вулканизата, от которых зависит поведение резины при существенно меньшей степени деформации в условиях эксплуатации.

Максимальную прочность имеют резины на основе каучуков, кристаллизующихся при растяжении. С увеличением гистерезисных потерь, в том числе в результате введения наполнителя в резиновые смеси из некристаллизующихся каучуков, прочность при растяжении возрастает. Поэтому повышение температуры и снижение скорости растяжения, добавление в резиновую смесь смягчителей и другие факторы, которые снижают способность к ориентации и гистерезисные потери, приводят к уменьшению прочности

Жесткость - один из основных критериев при выборе резин для изготовления резиновых технических изделий. Например, в силовых и амортизирующих изделиях от показателя жесткости зависит деформация элементов конструкции под нагрузкой. В уплотнительных деталях оптимальное значение этого показателя зависит от необходимого или допускаемого усилия сжатия, возможности выдавливания резины в зазор,

механического разрушения резины при повышенной температуре и высоком давлении среды.

Под жесткостью понимают сопротивление образца деформации. Поэтому одной из характеристик жесткости резины является значение модуля, в качестве которого чаще всего применяют условное напряжение при заданном удлинении в процессе растяжения образца с заданной скоростью  $E$ . Обычно жесткость резин оценивают по их твердости, которая характеризует модуль упругости резины при очень низкой степени деформации.

Таблица 3.2- Механические свойства резин на основе различных каучуков

Каучук	$f_p^*$ МПа	$f_p$ МПа	$E_p$ %	$B$ , кН/м	$H$ (по Шору А)
НК	20-30	15-35	500-800	35-170	30-100
СКИ	20-30	15-35	300-800	20-150	30-100
ПБ	2-8	10-25	400-800	20-70	40-90
БСК	2-6	10-30	250-800	15-70	40-95
БНК	3-7	10-30	300-700	25-85	35-95
ЭХГК	2-3	10-21	100-800	30-85	30-95
ПОК	2-3	15-25	500-900	—	30-80
ПХП	10-30	10-30	100-800	20-80	30-95
БК, ХБК	8-20	8-23	200-900	20-85	35-90
ЭПК, ЭПТ	2-7	10-25	100-800	20-60	30-95
ХСПЭ	4-10	10-24	100-700	30-75	40-95
АК	2-4	8-15	100-500	20-45	40-90
ФК	3-7	10-25	100-450	15-60	50-90
КК, ФКК	1	4-12	100-900	10-50	30-90
ПУ	20-50	20-60	250-800	30-130	35-100
ДСТ, ИСТ*	—	11-35	600-1200	25-70	50-100
Полиэфирные ТЭП*	—	35-45	500-800	120-150	60-100
ПНБК	—	9-35	200-600	—	15-80

\* Ненаполненные материалы

В зависимости от формы кривой напряжение-деформация различные резины могут иметь одинаковые значения  $f_{300}$ ,  $f_p$  и  $E_p$ , но значение в зависимости от нагрузки для этих резин может существенно отличаться. Поэтому оценку жесткости резин следует проводить именно при заданном значении деформации или зависимости напряжение-деформация. Форма этой

кривой может различаться даже для вулканизатов одинакового состава из-за отклонений в технологии изготовления смесей.

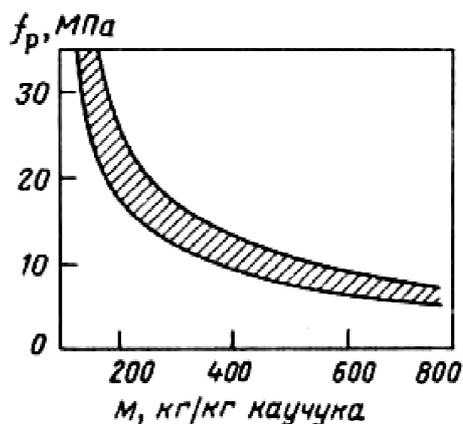


Рисунок 3.1 - Зависимость уровня прочности при растяжении от общего содержания компонентов в резиновой смеси

Прочностные свойства и твердость резин зависят от типа каучука, состава резиновой смеси и степени вулканизации (таблица. 3.2). Видно, что на основе каждого из каучуков можно получить резины с различным уровнем прочностных свойств и твердости. Эти показатели больше всего зависят от типа и содержания наполнителей и смягчителей, вулканизирующая группа при этом имеет меньшее значение. Обычно показатели прочностных свойств резин снижаются при уменьшении содержания каучука в резиновой смеси (рисунок 3.1), но одновременно уменьшается ее стоимость.

### **Механические свойства резин при динамическом нагружении**

Динамическое нагружение резин реализуется в амортизирующих, звукоизолирующих, противоударных и силовых резиновых технических изделиях, приводных ремнях, конвейерных лентах, уплотнениях подвижных соединений и др.

Различают упругогистерезисные и усталостнопрочностные свойства. Для характеристики упругогистерезисных свойств, описывающих взаимосвязь между напряжением и деформацией при многократном нагружении, обычно используются следующие показатели:

- эластичность по отскоку  $S$ ;

- динамический модуль упругости при растяжении или сжатии  $E'$  и сдвиге  $G''$ ;
- модуль потерь при растяжении или сжатии  $E''$  и сдвиге  $G''$ ;
- коэффициенты жесткости, характеризующие упругость  $k'$  и внутреннее трение  $k''$ ;
- модуль внутреннего трения  $K$ ,  $K = GA/L$  ( $A$ -площадь при сдвиге;  $L$ -длина образца);
- тангенс угла механических потерь  $\operatorname{tg} \delta$ ,  $\operatorname{tg} \delta = E''/E' = G''/C' = k''/k'$ ;
- коэффициент демпфирования  $C$ ,  $C = G''A/2\pi L\nu$  ( $\nu$ -частота);
- теплообразование-повышение температуры образца после многократной деформации  $\Delta t$ ;
- остаточная деформация после многократного сжатия  $E_t$ .

Работоспособность резин в большинстве изделий при различных условиях эксплуатации характеризуют комплексом упругогистерезисных и усталостно-прочностных показателей, взаимосвязанных между собой.

### **Усталостно-прочностные свойства резины**

Усталостью при динамическом нагружении называют разрушение или необратимое изменение структуры и свойств резинового образца или изделия в результате действия механического циклического напряжения и деформации. Усталость характеризуют усталостной выносливостью (число циклических нагружений до разрушения образца) и усталостной прочностью (максимальное значение амплитуды напряжения, соответствующее разрушению образца при заданном числе циклов нагружения). Усталость резин вызывается совокупностью различных физических и химических процессов, активируемых многократным механическим нагружением (таблица. 3.3).

Разрушение резин при циклическом нагружении происходит при растяжении, сжатии, изгибе, сдвиге. Различают режимы заданной амплитуды деформации, амплитуды напряжения, энергии цикла. Сравнение усталостно-

прочностных свойств разных резин должно проводиться только при одинаковых режимах деформирования. В противном случае результаты испытаний несопоставимы.

Усталостная выносливость резин возрастает при снижении амплитуды деформации или напряжения, а влияние частоты сравнительно невелико. Существует минимальная критическая амплитуда деформации, ниже которой рост трещин не наблюдается, а усталостная выносливость очень велика. По-видимому, для резин на основе ПИ значение критической деформации составляет 70...80%.

Усталостная выносливость существенно зависит от других механических свойств резин. Характер влияния жесткости зависит от условий нагружения. В режиме постоянной амплитуды деформации повышение жесткости приводит к увеличению напряжения, что снижает выносливость резин.

Прочностные свойства резин особенно важны при высокой амплитуде напряжения.

Усталостная выносливость и прочностные свойства резин могут изменяться при многократной деформации. Например, сопротивление раздиру резин на основе НК значительно снижается после нескольких циклов деформации, а для резин из ПБ и БСК изменений не происходит.

Таблица 3.3 - Зависимость усталостной выносливости серных вулканизатов от режима деформации

Каучук	Усталостная выносливость 10 <sup>6</sup> циклов	
	сжатие от -75 до 100%	растяжение от 50 до 125%
НК	4	30
БСК	22	0,2
Маслонаполненный БСК	30	5,8
Маслонаполненный БСК + ПБ	13	11,3
ЭПТ	30	23,6

Усталостная выносливость и сопротивление разрастанию дефектов при многократных деформациях уменьшаются после предварительного

термического старения и при повышении температуры испытаний. Это снижение в резинах на основе НК значительно меньше выражено, чем в резинах из синтетического ПИ.

### **Износостойкость резины**

Износостойкость характеризует способность резин сопротивляться потере материала в результате разрушения поверхности под действием фрикционных сил. Износостойкость зависит от механических и физико-химических свойств резин, условий эксплуатации или испытаний, конструкции изделия. Износостойкие резины применяют для изготовления пневматических шин, грохотов, сит в металлургии, уплотнений подвижных соединений, конвейерных лент и приводных ремней, покрытий оборудования для переработки и транспортирования минерального сырья, арматуры, трубопроводов.

В зависимости от механизма процесса различают усталостный, «скатыванием», абразивный, макроскопический (ударный) и пиролитический виды износа. При усталостном износе разрушение и последующее отделение материала обусловлены многократными деформациями сжатия, растяжения и сдвига поверхностного слоя резины в отдельных местах фактического контакта истираемой и истирающей поверхностей. Этот вид износа наблюдается при постоянной силе трения по резине тупых выступов контртела, имеющего грубую поверхность (уплотнительные детали, конвейерные ленты и др.). При износе «скатыванием» микронеровности поверхности резины деформируются, сворачиваются в «скатку» и отрываются от поверхности. Этот вид износа наблюдается при трении резин по гладким поверхностям, особенно при увеличении силы трения, скорости скольжения и температуры. Абразивный износ происходит в результате разрушения резины острыми выступами истирающей поверхности при достаточно высокой силе трения (конвейерные ленты, оборудование для измельчения горных пород и др.). При макроскопическом износе происходят

вырывы больших кусков резины в результате ее раздавливания и разрезания при ударе крупными кусками твердых материалов с острыми кромками (горнодобывающее оборудование). Пиролитический износ обусловлен термическим разложением поверхностного слоя резины и в реальных условиях эксплуатации встречается редко.

Фактический вид износа зависит от условий эксплуатации (испытаний) и характеристик резины.

### **Морозостойкость резины**

На морозостойкость резин влияют два независимых процесса - стеклование и кристаллизация каучука.

В процессе стеклования происходит потеря подвижности сегментов макромолекул каучука, что приводит к изменению физических и механических свойств резины. Поэтому физической характеристикой морозостойкости резин на основе некристаллизующихся (аморфных) каучуков является температура стеклования ( $T_g$ )-температура, ниже которой материал приобретает свойства твердого тела. В реальных условиях процесс стеклования происходит в области температур вблизи  $T_g$ .

В результате резкого замедления релаксационных процессов при понижении температуры возрастают жесткость, твердость, модуль упругости и потери на внутреннее трение, снижается эластичность, восстанавливаемость и контактное напряжение деформированных образцов, что ухудшает работоспособность резиновых изделий, особенно в динамических условиях. Эти нежелательные процессы наблюдаются при температуре выше  $T_g$ .

Резины из кристаллизующихся каучуков утрачивают эластические свойства при охлаждении до температуры, значительно превышающей  $T_g$ . Нижний предел температуры эксплуатации таких резин иногда может превышать  $T_g$  даже на 70...80 °С. В отличие от стеклования кристаллизация развивается во времени, скорость и степень потери эластичности, при прочих

равных условиях, зависят от значения температуры и продолжительности выдержки.

Снижение работоспособности при пониженной температуре резин из кристаллизующихся каучуков происходит в период от нескольких часов до нескольких месяцев. Поэтому для оценки их морозостойкости методы испытаний, которые предусматривают только кратковременную выдержку образцов при пониженной температуре и не учитывают развитие процесса кристаллизации в течение хранения и эксплуатации, непригодны.

В результате кристаллизации, как и при стекловании резин, возрастают твердость, модуль упругости и жесткость, снижаются восстанавливаемость и контактное напряжение в предварительно деформированном образце, уменьшается объем образца.

### **Термостойкость резин**

Термостойкость - способность резин сохранять свойства при действии повышенной температуры. Обычно этим термином обозначают сопротивление термическому старению, в процессе которого происходит изменение химической структуры эластомера. Изменение свойств резин при термическом старении необратимо. Способность сохранять прочностные, высокоэластические и другие свойства при кратковременном повышении температуры часто называют температуростойкостью. В этом случае изменение показателей свойств обратимо и связано с изменением физической структуры эластомера.

Термостойкость резин определяет максимальные температуру и продолжительность эксплуатации резиновых технических изделий. Обычно термостойкость характеризуют температурой или временем испытаний на старение (при фиксированном значении одного из этих параметров), в результате которых абсолютное или относительное значение показателя свойства не изменяется более допустимого уровня. Поэтому неправомерно оценивать термостойкость резины какой-либо конкретной температурой без

одновременного указания на продолжительность выдержки при этой температуре. Более того, понятие термостойкости имеет смысл только применительно к определенным показателям свойств резин и конкретным условиям старения (окружающая среда, давление и др.). Например, термостойкость большинства резин, оцениваемая по ОДС или релаксации напряжения, значительно ниже термостойкости тех же резин, характеризуемой изменением прочностных показателей. Термостойкость многих резин на воздухе значительно ниже, чем в инертных газах или маслах, но возможна и обратная зависимость.

При действии повышенной температуры на эластомеры происходит сшивание и деструкция макромолекул, деполимеризация, изменение степени ненасыщенности, циклизация и изомеризация, выделение летучих продуктов, а на воздухе - также окисление, образование карбонильных и других кислородсодержащих групп.

Термостойкость резин зависит, прежде всего от термической, термоокислительной и гидролитической стабильности каучука. Очень важна при этом природа поперечных связей, обусловленная составом вулканизирующей системы и режимом вулканизации. Резиновая смесь должна содержать антиоксиданты и термостабилизаторы. Некоторое влияние могут оказывать наполнители и другие ингредиенты резиновой смеси. Термостойкость резин может зависеть от остатков катализатора

При эксплуатации резин в жидких средах происходят следующие изменения:

- увеличение массы и объема резин (при сохранении химической структуры каучука);
- вымывание из резины пластификаторов, стабилизаторов и других целевых добавок;
- изменение пространственной сетки при повышенной температуре, облучении и других сопутствующих воздействиях;

- сшивание и деструкция при взаимодействии с реакционно-способными присадками или продуктами распада химически инертных жидкостей;

- превращение пространственной сетки при воздействии химически агрессивных жидкостей.

При эксплуатации резин в газообразной среде возможно механическое повреждение резин газом высокого давления, а также изменение пространственной сетки и свойств резин при повышенной температуре или химическом взаимодействии со средой.

### **Назначение и применение резины**

В производстве используются следующие виды резиновых изделий.

*Техническая листовая резина* - предназначена для изготовления прокладок, клапанов, уплотнителей, амортизаторов и др.

*Резиновый шнур* круглого, квадратного и прямоугольного сечения используется для работы в качестве уплотнительных деталей. По свойствам резины, шнуры подразделяются на пять типов: кислотощелочестойкие, теплостойкие, морозостойкие, маслобензиностойкие и пищевые.

*Резинотканевые* ленты применяют на конвейерах. Они подразделяются на два вида: для общего назначения и специального (теплостойкие, морозостойкие и маслостойкие и пищевые). Ленты состоят из тканевого сердечника послойной конструкции и резиновой обкладки рабочей и нерабочей поверхности. Для прокладок применяются прорезиненные ткани: бельтинг и уточная шнуровая ткань.

*Плоские ремни* — приводные тканевые, прорезиновые в зависимости от назначения и конструкции подразделяются на три типа: нарезные, применяющиеся для малых шкивов и больших скоростей; послойно завернутые — для тяжелых работ с прерывной нагрузкой и средних скоростей; спирально завернутые ремни применяются для работ с небольшими нагрузками и при малой скорости (до 15 м/с).

Ремни всех типов могут изготавливаться как с резиновыми обкладками (одной или двумя), так и без них. Приводные клиновые ремни состоят из кордткани или кордшнура, оберточной ткани, вулканизированных в одно изделие. Вентиляторные клиновые ремни предназначены для автомобилей, тракторов и комбайнов.

*Рукава (шланги) и трубы.* Рукава резинотканевые с металлическими спиралями подразделяются на две группы, всасывающие — для работы под разрежением и напорно-всасывающие — для работы под давлением и под разряжением. В каждой группе в зависимости от перекачиваемого вещества рукава подразделяются на следующие типы: бензомаслостойкие, для воды, для воздуха, кислорода и нейтральных газов, для слабых растворов неорганических кислот и щелочей концентрацией до 20%, для жидких пищевых продуктов.

Резинотканевые напорные рукава применяются в качестве гибких трубопроводов для перемещения под давлением газов, жидкостей и сыпучих материалов. Они состоят из внутреннего и наружного резиновых слоев и одной или нескольких прокладок из прорезиненной ткани.

Резинотканевые паропроводные рукава состоят из внутреннего слоя резины, промежуточных прокладок и наружного слоя резины. Они применяются в качестве гибких паропроводов для насыщенного пара при давлении до 0,8 МПа (8 кгс/см<sup>2</sup>) и температуре 175° С.

*Технические резиновые трубки* кислотощелочестойкие предназначаются для перемещения растворов кислот и щелочей концентрацией до 20% (за исключением азотной и уксусной кислот); теплостойкие при температуре: в среде воздуха до 90° С, в среде водяного пара до +140° С; морозостойкие до -45° С; маслобензостойкие; пищевые.

*Резинотканевые шевронные, многорядные уплотнения* — служат для обеспечения герметичности в гидравлических устройствах при возвратно-поступательном движении плунжеров, поршней и штоков, работающих в среде воды, эмульсии и минеральных масел.

Резиновые уплотнения применяются для валов, для работы в среде минеральных масел и воды при избыточном давлении.

Резиновые уплотнительные кольца применяются для соединительных головок тормозных рукавов, изготавливаемых формованием; для гаек пожарных рукавов формованные.

*Сальниковые набивки* предназначаются для заполнения сальниковых уплотнений с целью герметизации места выхода движущейся детали механизма от рабочего пространства одной среды и одних параметров в пространство другой среды и других параметров. Пропитанные набивки обеспечивают смазку подвижной детали механизма.

Возможности применения силиконовой резины чрезвычайно разнообразны и охватывают все отрасли промышленности.

*В электротехнике* её используют как изоляционный материал, особенно при высоких температурах, а также в тех случаях, которые связаны с воздействием влаги и озона. Из силиконовой резины делают оболочку для кабеля и проводов. В других случаях из неё изготавливают изоляционные трубы, либо без укрепляющих добавок, либо совместно со стеклонаполнителем. Ленты, изготовленные из стеклонитей или полиэфирного волокна и покрытые силиконовой резиной, в вулканизированной форме, служат как изоляционный материал, который наматывается внахлест на электрический провод. Следует отметить также токопроводящие силиконовые резиновые смеси, используемые для изготовления специальных кабелей, например, в автомобилестроении, а также клавишных переключателей в электронных усилителях.

Наконец, силиконовая резина играет большую роль в области *электротехнического машиностроения*, например, там, где действуют высокие температуры: в рольгангах, в тяговых электродвигателях, в крановых электродвигателях. Кроме того, из силиконовой резины можно изготавливать покрытия с подогревом, при этом провод сопротивления вводится в резину.

*В машиностроении* силиконовая резина применяется как уплотнительный материал. Широкое распространение нашли мембранные вентили и диафрагмы из силиконовой резины. Большое значение имеют, прежде всего, воздуходувки (шланги) горячего воздуха с тканевыми фильтрами и без них.

Транспортёры покрывают силиконовой резиной в тех случаях, когда они транспортируют горячие или липкие изделия. Для текстильной промышленности незаменимое значение приобрели термостойкие и антиадгезионные покрытия из силиконовой резины для валов. Силиконовые резины используются для раскатки клеевых слоев. В стекольной промышленности по роликам из силиконовой резины осуществляется транспортировка горячих стеклянных заготовок.

## 4. ОПИСАНИЕ И ВАРИАНТЫ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

### Полимерные материалы

Обратите внимание на виды и особенности строения полимеров, их механические и физико-химические свойства.

Рассматривая пластические массы, необходимо понять, что это искусственные материалы, получаемые на основе органических полимерных веществ, которые являются обязательными связующими компонентами пластмасс. Изучите различные группы пластических масс, их свойства и области применения.

#### Вопросы для самопроверки:

1. Понятие полимеров.
2. Основные структурные схемы полимеров.
3. Что лежит в основе классификации полимеров?
4. Какие вы знаете наполнители пластмасс?
5. Укажите область применения термопластов и реактопластов, приведите примеры.
6. В чем преимущества пластмасс по сравнению с металлическими материалами? Каковы их недостатки?

### Композиционные материалы

Обратите внимание на принципиальное отличие композиционных материалов, заключающееся в сочетании разнородных материалов с четкой границей раздела между ними. Укажите свойства композитов в зависимости от вида матрицы и формы, размеров и взаимного расположения наполнителя. Уясните возможность использования композитов в качестве жаропрочных материалов и способы повышения их жаропрочности.

### **Вопросы для самопроверки:**

1. Что такое композиты?
2. Как подразделяются композиты в зависимости от формы и размеров наполнителя?
3. Как подразделяются композиты по виду матрицы?
4. От чего зависят механические свойства композитов?
5. Какими свойствами обладают компоненты композиционных материалов?
6. Какое строение могут иметь композиционные материалы?
7. Что является матрицей в композиционных материалах?
8. Какие наполнители используют для упрочнения композиционных материалов?
9. Какое влияние на свойства композиционного материала оказывают волокна бора?
10. Какими способами можно получать композиционные материалы?
11. В каких областях промышленности могут применяться композиционные материалы?
12. Приведите примеры классификации композиционных материалов (по материаловедческому, конструкционному, технологическому, эксплуатационному принципам).
13. Обоснуйте необходимость получения композитов.
14. Какие характеристики композита определяют его удельные прочность и жесткость?

## 5. ЗАДАНИЕ НА КОНТРОЛЬНУЮ РАБОТУ

Номера вариантов студент должен выбрать в соответствии с данными, приведенными в списке старосты журнале группы.

При выполнении контрольной работы студент должен дать ответы на три вопроса.

Контрольная работа должна быть написана четко, разборчиво, с обязательным использованием поясняющих схем и расчетных формул тех показателей, формулировки которых приведены в работе. Вначале необходимо указать номер вопроса или задачи согласно заданию и полностью написать текст вопроса или условие задачи. После этого можно перейти к ответу на поставленный вопрос или решению задачи. Ответы на вопросы должны быть изложены в реферативной форме, то есть не должно быть дословного переписывания из литературных источников.

В конце контрольной работы указать список использованной литературы, поставить подпись и дату.

### Вариант Номера задач

<b>1</b>	1 16 31
<b>2</b>	2 17 32
<b>3</b>	3 18 33
<b>4</b>	4 19 34
<b>5</b>	5 20 35
<b>6</b>	6 21 36
<b>7</b>	7 22 37
<b>8</b>	8 23 38
<b>9</b>	9 24 39
<b>10</b>	10 25 40
<b>11</b>	11 26 41
<b>12</b>	12 27 42
<b>13</b>	13 28 43
<b>14</b>	14 29 44
<b>15</b>	15 30 45

## Контрольные вопросы

1. Назовите ученых, внесших определяющий вклад в развитие науки о полимерах. Когда окончательно сформировалась наука о полимерах?
2. Дайте классификацию полимеров.
3. Дайте классификацию известных супрамолекулярных полимеров.
4. Что такое тиксотропный супрамолекулярный гель?
5. Назовите особенности строения полимеров в различных фазово-агрегатных состояниях.
6. В чем суть метода гель-технологии?
7. Где используются высокопрочные полимерные волокна, полученные с помощью гель-технологии?
8. Дайте классификацию полимерных жидких кристаллов.
9. В чем суть метода упрочнения жесткоцепных полимеров через жидкокристаллическое состояние?
10. Дайте классификацию полимерных композитов и способы их получения.
11. Что такое нанокompозиты и нанотехнологии?
12. Что такое нетканые материалы?
13. Основы кинетической теории прочности полимеров.
14. Принцип действия полимерного световода и требования к полимерам, используемым при их изготовлении.
15. Где используются разветвленные полимеры?
16. Назовите области использования полимерных волокон особого назначения.
17. Причины светопотерь в полимерном световоде и методы их снижения.
18. Области использования полимерных световодов.
19. Области использования синтетических полимеров.
20. Биополимеры и их роль в окружающей среде.
21. Аллотропные формы углерода, примеры использования в нанотехнологиях.
22. Дендримеры, полимерные щетки. В чем сходство и различие?

- 23.Использование нетканых материалов в народном хозяйстве.
- 24.Актуальность получения биоразлагаемых полимеров.
- 25.Природные полимеры. Основные классы.
- 26.Основные пути упрочнения полимеров.
- 27.Классификация и использование жидко-кристаллических полимеров.
- 28.Волоконная оптика на полимерах.
- 29.Метод гель-технологии.
- 30.Классификации супрамолекулярных полимеров, их химическое строение.
- 31.Становление науки о полимерах. Исторические этапы.
32. Что такое тиксотропный супрамолекулярный гель?
- 33.Полимерные наноструктурированные материалы
34. Блок-сополимеры. Особенности термодинамики блок- сополимеров.  
Синтез полимеров контролируемой структуры.
35. Микрофазное расслоение блок-сополимеров. Мицеллообразование в блок-сополимерах. Агрегатные и фазовые состояния полимеров.
36. Нанопористые полимерные материалы.
37. Сополимеры с жесткими фрагментами. Структура сополимеров стержень-клубок.
38. Полимерно-неорганические нанокомпозиты.
39. Получение органических нанокомпозиций на методом Ленгмюра-Блоджетт, особенности их структуры и применения.
40. Методы получения, свойства, методы исследования и применение блоксополимеров.
41. Методы получения, свойства, методы исследования и применение нанопористых полимерных материалов
42. Полимерно-неорганические нанокомпозиты.
43. Молекулярное распознавание в супрамолекулярной химии.
44. Катализаторы на основе наночастиц металлов и их оксидов.
45. Газонаполненные пластмассы (пенно - и поропласты). Опишите способы их изготовления, свойства и область применения

## **6. ТЕМЫ РЕКОМЕНДУЕМЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

1. Приборы и оборудование для термического анализа.
2. Микроскопический метод исследования полимеров.
3. Микроструктурный анализ полимеров в равновесном состоянии.
4. Антифрикционные сплавы, применяемые в сельском хозяйстве.
5. Сплавы на основе двойных систем.
6. Исследование влияния состава пластмасс на их физико-механические свойства.
7. Влияние температуры нагрева на механические свойства пластмасс.
8. Определение физико-механических свойств резиновых материалов.
9. Изучение свойств органических стекол.

## 7. РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ТЕМЫ РЕФЕРАТОВ

1. Перспективные направления развития конструкционных материалов
2. Композиционные материалы, армированные волокнами
3. Композиционные материалы с алюминиевой матрицей.
4. Композиционные материалы с никелевой матрицей.
5. Стекло и керамика – материалы для промышленности.
6. Взаимозаменяемость материалов в промышленности.
7. Процессы полимеризации и поликонденсации. Естественные и синтетические полимеры.
8. Строение полимера – ключ к свойствам пластмасс.
9. Полимерные материалы в машиностроении.
10. Эластомеры - родственники пластмасс.
11. Резины общего и специального назначения.
12. Термомеханические свойства полимера.
13. Полярные термопласты.
14. Пластмассы с порошковыми наполнителями.
15. Свойства композиционных материалов с полимерной матрицей.
27. Стекло – традиционный и перспективный материал.
28. Электроизоляционные ситаллы и металлические стекла.
29. Техническая керамика: виды, состав и области применения.
30. Металлокерамические материалы.
31. Антифрикционные металлокерамические материалы.
32. Электротехнические металлокерамические материалы.

## 8. СОДЕРЖАНИЕ И СТРУКТУРА ТЕСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

### Содержание тестовых материалов

#### Задание

Терморектопластами являются...

- 1 поропласт
- 2 полиметилакрил
- 3 стеклотекстолит
- 4 полистирол
- 5 гетинакс

#### Задание

Композиции на основе полимеров для обеспечения уплотнения соединений, топливных баков...

- 1 конструкционные клеи
- 2 эмали
- 3 герметики
- 4 грунты
- 5 нитролаки

#### Задание

Неорганический материал, полученный спеканием дисперсных порошков кислых окислов или карбидов...

- 1 стекла
- 2 ситаллы
- 3 техническая керамика
- 4 резины
- 5 герметики

#### Задание

Детали из пластмасс в твердом состоянии получают...

- 1 резанием
- 2 намоткой
- 3 центробежной формовкой

#### Задание

Операции вырубке подвергают пластмассы в состоянии ...

- 1 твердом
- 2 вязкотекучем

- 3 жидком
- 4 высокоэластичном

**Задание**

Центробежной формовке подвергают пластмассы в состоянии ...

- 1 жидком
- 2 твердом
- 3 вязкотекучем
- 4 высокоэластичном

**Задание**

Слоистый пластик на основе ткани, пропитанный термореактивной синтетической смолой, устойчив к нагрузкам. Необходим для изготовления шарикоподшипников и шестерен

- 1 Стеклопласт
- 2 Полиэтилен
- 3 Текстолит
- 4 Карболит
- 5 Гетинакс

**Задание**

Фенолформальдегидная смола – это полимер

- 1. натуральный
- 2. пространственный
- 3. термопластичный
- 4. линейный
- 5. низкомолекулярный

**Задание**

Природные высокомолекулярные соединения, макромолекулы которых состоят из мононуклеотидов, называют

- 1. карбоновыми кислотами
- 2. нуклеиновыми кислотами
- 3. углеводами
- 4. белками
- 5. аминокислотами

**Задание**

Реакция получения фенолформальдегидной смолы называется

1. поликонденсацией
2. гидратацией
3. гидролизом
4. сополимеризацией
5. полимеризацией

### **Задание**

Полиэтилен - ... полимер

1. натуральный и животного происхождения
2. натуральный и растительного происхождения
3. химический и искусственный
4. химический и синтетический
5. натуральный и химический

### **Задание**

Полиэфирное волокно:

1. Лавсан
2. Шелк
3. Вискоза
4. Капрон
5. Нитрон

### **Задание**

Природное высокомолекулярное соединение

1. Сахароза
2. Мальтоза
3. Глюкоза
4. Клетчатка
5. Полиэтилен

### **Задание**

По способам получения полимеры делятся только на

1. натуральные и химические
2. синтетические и искусственные
3. искусственные и химические
4. химические
5. природные

### **Задание**

Если масса изопренового каучука 500000, то число структурных звеньев

1. 7483
2. 7693
3. 7796
4. 7233
5. 7353

### **Задание**

Вещества одинакового состава, но различного строения с различными свойствами называют

1. Полимерами.
2. Изотопами.
3. Гомологами.
4. Аналогами.
5. Изомерами.

### **Задание**

Мономеры - это

1. степень полимеризации
2. число структурных звеньев
3. часть высокомолекулярного соединения
4. низкомолекулярные вещества, из которых образуются молекулы полимеров
5. масса макромолекулы

### **Задание**

В результате вулканизации каучука можно получить:

1. Фенопласт и полиэтилен.
2. Изопрен и винилхлорид.
3. Хлоропрен и поливинил хлорид.
4. Резину и эбонит.

### **Задание**

Фенолформальдегидная смола – это полимер

1. натуральный.
2. животный.
3. синтетический.
4. линейный.
5. растительный.

### **Задание**

Кремнийорганические полимеры:

1. Пенопласты
2. Силиконы
3. Каучуки
4. Фенопласты
5. Аминопласты

### **Задание**

Вещество, которое не входит в состав пластмассы

1. пластическая смола
2. растворитель
3. стабилизатор
4. наполнитель
5. краситель

### **Задание**

Каучук получают в результате реакции:

1. Поликонденсации.
2. Этерификации.
3. Изомеризации
4. Полимеризации
5. Гидролиза

### **Задание**

Элементарное звено  $-\text{CH}_2-\text{Cl}=\text{CH}-\text{CH}_2-$  имеется в макромолекулах:

1. хлоропренового каучука
2. полипропилена
3. бутадиенстирольного каучука
4. полиэтилена
5. бутадиенового каучука

### **Задание**

По способам получения полимеры делятся только на

1. синтетические и искусственные
2. искусственные и химические
3. химические
4. природные
5. натуральные и химические

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современная наука позволяет конструировать на основе полимеров с использованием различных ингредиентов композиционные материалы с заданными свойствами, имеющих улучшенные физико-механические свойства.

Одним из видов полимерных композиционных материалов являются армированные полимерные композиты, обладающие уникальными физико-механическими свойствами, благодаря которым они широко используются в различных областях техники, строительстве, на транспорте, сельском хозяйстве и других отраслях. Высокие прочностные свойства, долговечность, технологичность и широкий ассортимент позволяют выбрать материал практически для любых областей, удовлетворяющий современным техническим требованиям. Объемы потребления армированных пластиков постоянно растут в связи с расширением областей их применения и разработкой новых сырьевых материалов – связующих и армирующих волокнистых наполнителей.

При разработке композиционных материалов основной задачей является создание оптимальной структуры, которая соответствует условиям эксплуатации изделия из него. Это достигается путем выбора компонентов композита, их соотношения, способа получения композита и изделия из него. С помощью этого регулируются упруго-прочностные свойства, тепло- и электротехнические и другие характеристики не только материала, но и готового изделия с учетом его конструкции и условий эксплуатации. Современные достижения материаловедения, информационных технологий, наличие объемных баз данных позволяют автоматизировать проектирование полимерных композитов.

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Арзамасов Б.Н. Материаловедение: учебник для вузов / Б.Н. Арзамасов, В.И. Макарова, Г.Г. Мухин и др.; под общей редакцией Б.Н. Арзамасова, Г.Г. Мухина. – 5-е изд. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 648 с.
2. Карпенков В.Ф. Материаловедение. Технология конструкционных материалов. – М.: Колос, 2012. – 508 с.
3. Колесов С.Н. Колесов И.С. Материаловедение и технология конструкционных материалов. – М.: Высшая школа, 2010. – 519с., ил.
4. Лахтин, Ю.М. Материаловедение: учеб. для втузов. – изд-е 5-е. стереотип. /Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева. – М.: Издательский дом Альянс, 2009. – 527 с.
5. Солнцев, Ю.П. Специальные материалы в машиностроении /Ю.П. Солнцев, Е.И. Пряхин, В.Ю. Пирайнен. – СПб.: Химиздат, 2004. – 640с.
6. Бобович, Б.Б. Неметаллические конструкционные материалы: учебное пособие для вузов / Б.Б. Бобович. – М.: МГИУ, 2009. – 383 с.
7. Мозберг Р.К. Материаловедение / Р.К. Мозберг. - М.: Высшая школа, 1991. - 448с.
8. Гарифуллин Ф.А. Лекции по материаловедению: учебное пособие / Ф.А Гарифуллин. - Казань: Идель-Пресс, 2002. - 624 с.
9. Ибляминов Ф.Ф. Материаловедение и технология конструкционных материалов. Учебное пособие /Ф.Ф. Ибляминов, Н.З. Мингалеев, С.М. Яхин, Г.В. Пикмуллин, Р.Р. Лукманов// - Казань: Издательство Казанского ГАУ, 2016. – 208с. (ISBN 978-5-905201-38-7).
10. Мингалеев Н.З. Методические указания для лабораторных работ по материаловедению (часть 3). / Н.З. Мингалеев, Г.В. Пикмуллин Ф.Ф. Ибляминов. Казань: КГАУ, 2015. - 32 с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

<b>Основные виды полимерных конструкционных материалов</b>			
<b>Вид ВПКМ</b>	<b>Применение</b>	<b>Армирующие наполнители</b>	<b>Матрицы (связующие)</b>
Конструкционные, общего назначения	Широкого применения	БН, ДН, АВН	ТП, РП
Строительные	Конструкционные	ДН, АВН	ТП, РП
	Декоративные	АВН	РП
	Теплоизолирующие	АВН	РП
	Звукоизолирующие	АВН	РП
Электрорадиотехнические	Электроизолирующие	БН	ТП
	Высокочастотные диэлектрики	ДН, АВН, БН	ТП, РП
	Электропроводные	ДН, АВН	ТП, РП
	Поглощающие электромагнитное излучение	ДН, АВН	ТП, РП
Конструкционные спецназначения	Высокомодульные и высокопрочные	АВМ	ТП, РП
	Термостойкие	ДН, АВН	АТП, ТРП
	Трудногорючие	АВН	ТРП
	Хемостойкие	БН, ДН, АВН	ТП, РП
	Антифрикционные	ДН, АВН	ТП, РП
	Фрикционные	ДН, АВН	РП
	Радиационностойкие	АВН	АТП, РП
	Биоинертные	БН	ТП

БН – без наполнителя; ДН – дисперсный наполнитель; АВН – армирующий волокнистый наполнитель; ТП – термопласт; АТП – ароматический термопласт; РП – реактопласт; ТРП – термостойкий трудногорючий реактопласт