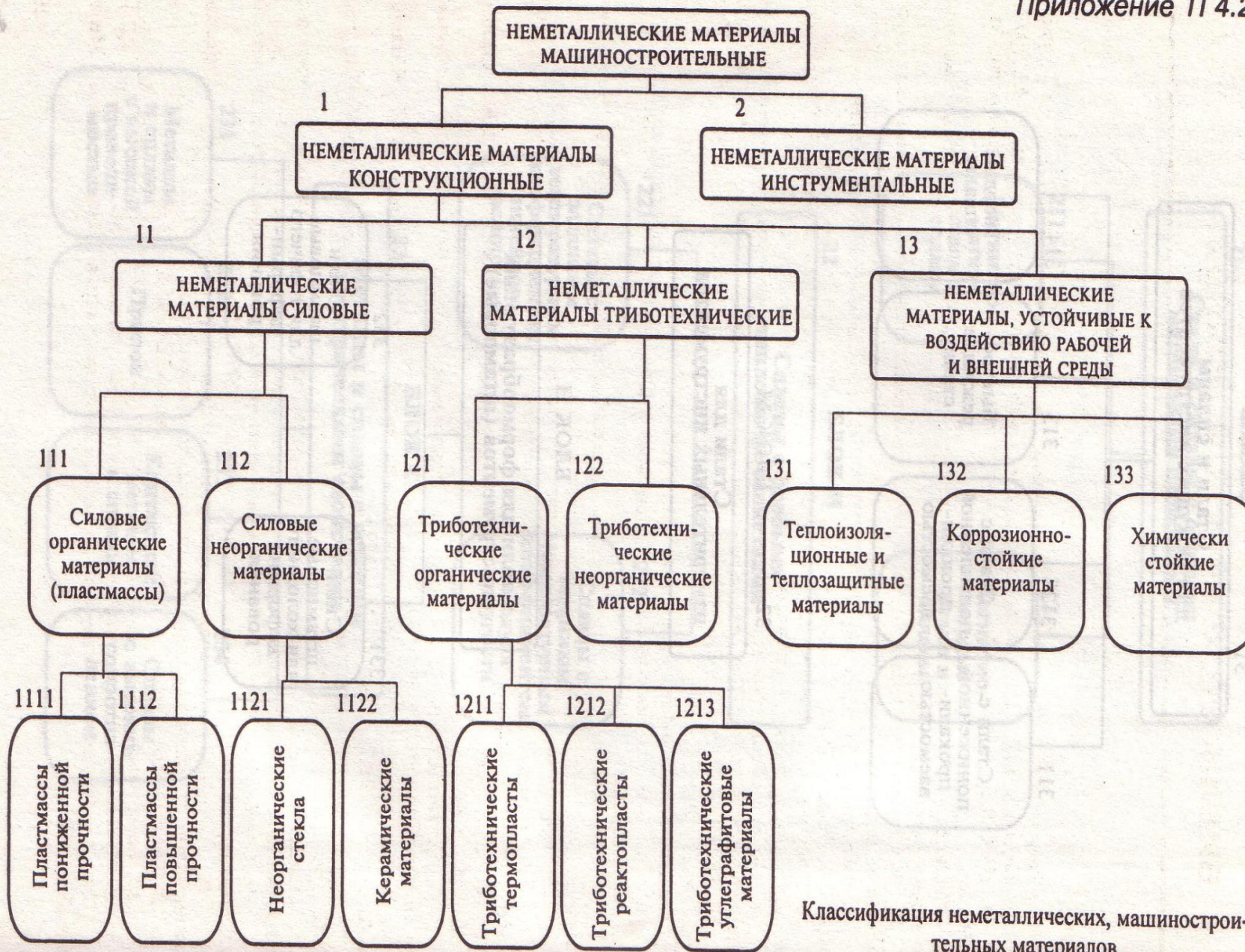


ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова  
Кафедра технологии материалов и материаловедения

# Неметаллические и композиционные материалы

- 1.Пластмассы
- 2.Композиционные материалы
- 3.Структура и свойства материалов
- 4.Резиновые материалы. Стекло

**Подготовила доц каф. ТМиМ Богданова Н.В.**



Классификация неметаллических, машиностроительных материалов

# Пластмассы

**Пластмасса** — материал, представляющий собой композицию полимера с различными ингредиентами, находящуюся при формировании изделия в вязкотекучем или высокоэластичном состоянии, а при эксплуатации — в стеклообразном или кристаллическом состояниях (ГОСТ 24888—81).

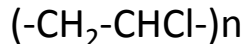
**Пластмассы** как конструкционные материалы характеризуются рядом отличительных особенностей; малая плотность (1—2 т/м<sup>3</sup>) и, в связи с этим, нередко высокая удельная прочность, высокая коррозионная стойкость, **хорошая технологичность** (легко формуется, прессуются), низкая теплопроводность, высокие **электроизоляционные свойства**, а в некоторых случаях — оптическая и радиопрозрачность.

**Наиболее высокими теплоизоляционными** свойствами обладает **пенопласт**

Физическое состояние полимера, в котором он способен к большим (сотни процентов) **обратимым деформациям**, называется **высокоэластическим**

**Недостатками пластмасс** по сравнению с металлами являются: невысокая теплостойкость, низкие модуль упругости и ударная вязкость, а также **склонность к старению** в условиях эксплуатации изделий.

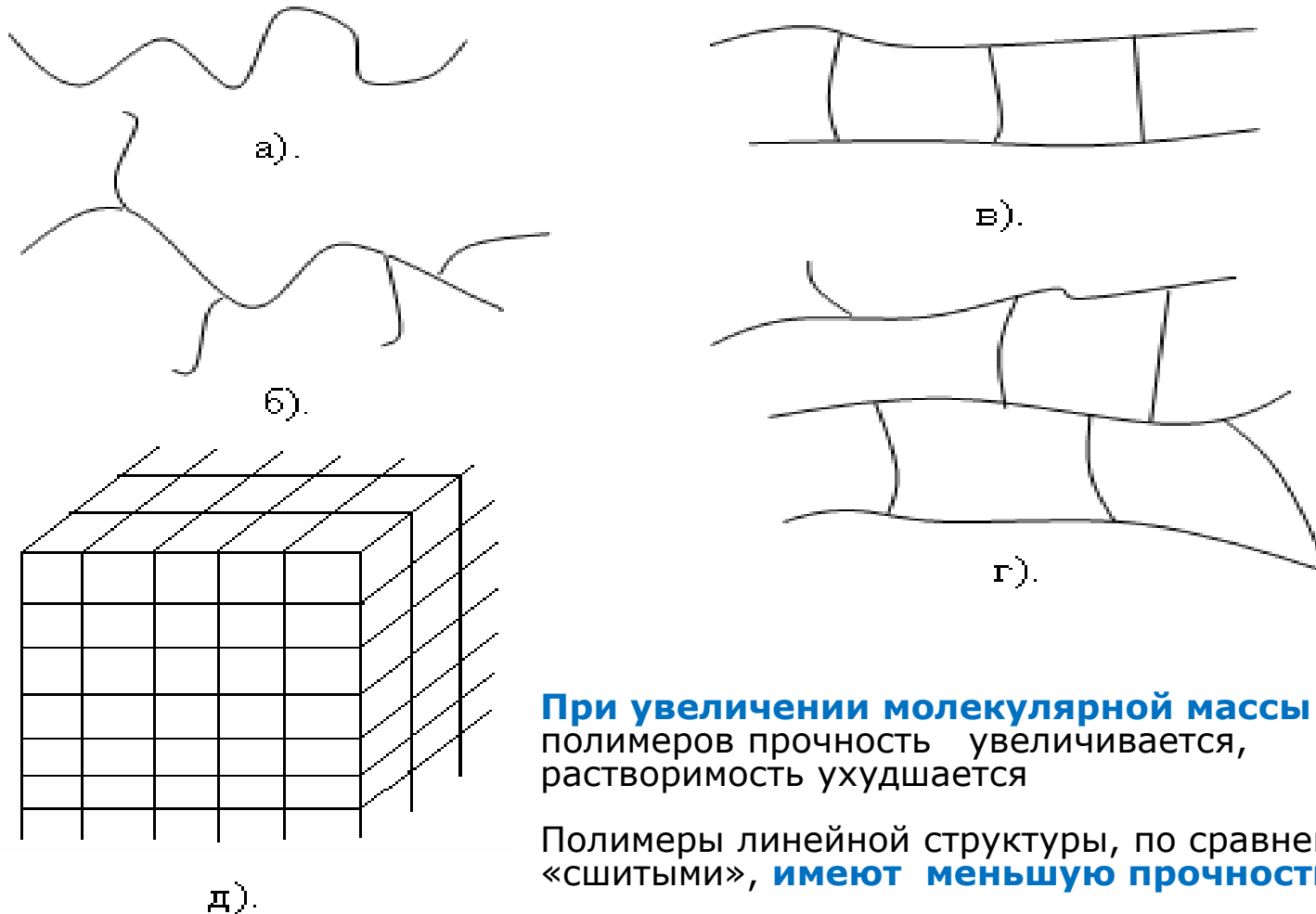
**Полимеры** — высокомолекулярные химические соединения, состоящие из многочисленных низкомолекулярных звеньев (мономеров) одинакового строения (макромолекулы)



По составу полимеры делятся на:

- органические (состоят из углерода, водорода, серы, галогенов);
- элементоорганические (помимо перечисленных содержит в составе цепи атомы кремния, титана, алюминия и др.);
- неорганические (не содержат атомов углерода: силикатное стекло, керамика, слюда, асбест).

# Пластмассы. Строение.



**При увеличении молекулярной массы** линейных полимеров прочность увеличивается, растворимость ухудшается

Полимеры линейной структуры, по сравнению со «сшитыми», **имеют меньшую прочность**

Рис. 3 Типы структуры полимера: а)– линейная; б)– линейно-разветвленная; в)– лестничная; г)сетчатая; д)пространственная.

# Пластмассы. Состав.

Полимеры являются основой синтетических материалов – **пластмасс**.

Обычно пластмассы состоят из нескольких компонентов: **связующее**, **наполнитель**, **пластификатор**, **стабилизатор**, **краситель** и др (отвердители, антифрикционные добавки, смазки, антистатика ...)

**Связующее вещество** является обязательным компонентом любых пластмасс, оно скрепляет все компоненты в единый материал. Простые пластмассы состоят только из связующего (полиэтилен).

**Наполнителями** служат твердые материалы, они придают пластмассе те или иные необходимые специальные свойства (**твердость**, **прочность**, **теплостойкость**, **антифрикционность**, **фрикционные свойства** и т.д.).

Для повышения механических свойств, удешевления пластмасс в их состав вводят **наполнители**

**Пластификаторы** – это низкомолекулярные малолетучие жидкости с низкой температурой плавления. Они снижают жесткость, хрупкость пластмасс, **повышают их способность деформироваться**.

**Стабилизаторы** – вещества, замедляющие старение пластмасс.

# Пластмассы. Термопласты. Полярные. Неполярные.

- Пластмассы разделяются на **термопласты** и **реактопласты**.

## Пластмассы пониженной прочности (термопласты)

- Полимеры, обратимо затвердевающие в результате охлаждения без участия химических реакций, называются **термопластичными**
- Термопласты характеризуются низкой прочностью (20—70 - 100—140 МПа) при высокой пластичности; Рабочая температура термопластов 60—70оС, иногда до 150оС. Многие из термопластов чувствительны к атмосферному **старению**
- **Полярность** определяется наличием в составе полимера диполей. В макромолекулах неполярных полимеров центры тяжести разноименных зарядов совпадают. Из перечисленных материалов неполярным термопластом является полипропилен.
- **Из неполярных термопластов** наибольшее применение имеют: полиэтилен, **полипропилен**, **полистирол**
- **Неполярные термопласты** отличаются от других групп пластмасс хорошими **диэлектрическими свойствами**
- **Из полярных термопластов** сравнительно широко применяются:
  - - **органическое стекло (плексиглас, полиметилметакрилат)** - самолето- и автомобилестроении, светотехнике;
  - - **поливинилхлорид**, в том числе непластифицированный — винипласт
  - - полиамиды — **капрон**, нейлон, анид и др. (шестерни, втулки, болты, гайки, шкивы, колеса насосов и турбин, детали маслопроводов, канаты);
  - - **полиэтилентерефтолат** — лавсан или майлар, терилен (шестерни, кронштейны, ремни, канаты, пленки).

# Пластмассы. Термопласты.

- В машиностроении **термопласты** применяются в основном для изготовления деталей, не подвергающихся значительным механическим воздействиям.
- Они используются также в качестве прозрачных стекол и диэлектриков; нередко из них изготавливаются пленки и волокна.
- Некоторые из термопластов применяются с **наполнителями** (политетрафторэтилен, полиамиды, полиимиды и др.). Полимер в этом случае выступает в роли **связующего** композиционных материалов, о которых речь пойдет позже.
- При введении **наполнителя**, например, **стеклоткани** в полиимиды (СТП-1, СТП-3) и **стекловолокна** в полиамиды (П-6ВС) повышается прочность;
- При введении **графита или дисульфида молибдена** — в политетрафторэтилен (Ф-40Г40, Ф-40М30) улучшаются антифрикционные свойства.
- Из наполненных термопластов изготавливаются трубы, зубчатые колеса, вентили, емкости и пр.
- Если связь между макромолекулами слабая (Ван-дер Ваальса) – термопласты, если – химическая – реактопласты)
- **Полиметилметакрилат** можно использовать для изготовления стекол кабины самолета

# Пластмассы. Реактопласты

## Пластмассы повышенной прочности (реактопласты)

Терморезактивными называют полимеры, необратимо отверждающиеся в результате протекания химических реакций с образованием сшитых структур. При этом полимер теряет способность растворяться и переходить в вязкотекучее состояние при нагревании.

**Отвердители** добавляют в пластмассы терморезактивные

**После отверждения терморезактивные полимеры имеют сшитую структуру.**

В качестве связующих широко используются фенолформальдегидные, эпоксидные и кремнийорганические **смолы**, в том числе **резольная смола**, ненасыщенные полиэфирные и их различные модификации.

Наивысшей **теплостойкостью** обладают пластмассы на **кремнийорганическом** связующем (от 260 до 370 °С), несколько ниже — на фенолформальдегидном (до 260 °С) и эпоксидном (до 200 °С) связующих.

Важной особенностью ненасыщенных полиэфиров и эпоксидных смол является их способность к **отверждению** не только при нагреве, но и при комнатной температуре, что значительно улучшает технологичность соответствующих пластмасс, особенно при производстве крупногабаритных изделий.

повышают прочность композита. В зависимости от формы наполнителя полимерные композиты разделяются на порошковые, волокнистые и слоистые.



# Порошковые реактопласты

В качестве наполнителя в этих материалах используются: древесная мука, кварц (молотый), тальк, цемент, слюдяная мука, графит и пр.

Они изотропны и характеризуются относительно невысокой прочностью (150—190 МПа при сжатии и 30—60 МПа при растяжении).

Наиболее широко распространены порошковые реактопласты на основе фенолформальдегидных смол — фенопласты (ГОСТ 5689—79) и карбамидных смол — аминопласты.

Из них в основном изготавливаются несилловые конструкции (рукоятки, детали приборов и др.) и электроизоляционные детали.

Композиции на основе эпоксидных смол в машиностроении применяются для изготовления инструментальной оснастки, вытяжных и формовочных штампов, корпусов различных приспособлений, литейных моделей, копиров и т.п.

# Реактопласты с волокнистыми наполнителями

В качестве **наполнителя** в этом случае используются:

- **очесы хлопка (волокниты),**
- **волокнистый асбест (асбоволокниты),**
- **короткое стекловолокно (стекловолокниты).**

В первых двух случаях в качестве связующего в основном используется фенолформальдегидная смола; в последнем — применяются и другие смолы.

По сравнению с соответствующими порошковыми реактопластами эти материалы имеют повышенную прочность, возрастающую от волокнитов к стекловолокнитам.

Типичным представителем стекловолокнитов на фенолформальдегидном связующем являются АГ-4В и ДСВ с прочностью 80—100 МПа; они применяются при изготовлении силовых электротехнических деталей, а также деталей машин: золотники, уплотнения насосов и пр.

**Стекловолокниты могут быть и с длинными волокнами,** располагающимися ориентированно отдельными прядями (АГ-4С). Это обеспечивает более высокую прочность в одном из направлений (до 300—500 МПа). Наиболее же прочными из таких материалов являются стекловолокниты 23-6ЭС и 33-18С на эпоксидном связующем (до 800—900 МПа) и однонаправленный материал на волокне ВМ-1 (до 2000 МПа).

Стекловолокниты в связи с их **достаточно высокими механическими свойствами** применяются для изготовления деталей высокого класса точности, разнообразной конфигурации с арматурой и резьбой.

# Полимерные композиты с борными и углеродными волокнами

В настоящее время получают распространение полимерные композиты с борными, углеродными и керамическими волокнами.

Наиболее перспективными являются пластики с наполнителем из углеродных волокон — **карбоволокниты**, отличающиеся низким (практически нулевым) коэффициентом расширения, высокой статической прочностью (650—1000 МПа) и сопротивлением усталости, а также жесткостью при меньшей, чем у стекловолоконитов, плотности (1,4—1,5 т/м<sup>3</sup>); однако при сжатии и сдвиге они малопрочны.

Получают распространение и **борволокниты**, отличающиеся как раз большим сопротивлением сжатию, сдвигу (срезу) и ползучести; используются также пластика с наполнителем боростеклонитями.

**Бороволокнитами** называют композиционные материалы на основе полимерной матрицы, упрочненные борными волокнами

**Органоволокнитами** называют композиционные материалы на основе полимерной матрицы, упрочненные **синтетическими волокнами**.

# Слоистые реактопласты. Гетинакс. Текстолит. Асботекстолит.

**Листовой наполнитель** в слоистых реактопластах укладывается слоями, что придает им анизотропность. Они применяются как силовые конструкционные, а также поделочные материалы и производятся в виде плит, листов, труб и заготовок, предназначенных для последующей механической обработки.

В машиностроении наиболее широко применяются:

- **Гетинакс.** Это слоистый пластик на основе модифицированных фенольных, анилиноформальдегидных смол с **наполнителем в виде различной бумаги**; он применяется в качестве электротехнического и отделочного (декоративного) материала. В последнем случае он широко используется для внутренней облицовки самолетов, вагонов и судов.
- **Текстолит.** Это пластик, как правило, на фенолформальдегидном связующем, с **наполнителем в виде хлопчатобумажной ткани**. Он изготавливается как конструкционный (ПТК, ПТ, ПТМ), электротехнический, графитированный и прокладочный (гибкий) материал. В качестве конструкционного материала текстолит применяется для изготовления **зубчатых колес (бесшумные шестеренные передачи)**; он также хорошо поглощает вибрации.
- Для изготовления зубчатых колес, шестерен, передающих значительные усилия, целесообразно использовать **текстолит**.
- **Асботекстолит.** В качестве наполнителя в этом материале используется асбестовая ткань; он применяется как конструкционный и теплоизоляционный материал. Наибольшая прочность у асботекстолитов с фенольным связующим, а теплостойкость — с кремнийорганическим (до 300 °С) связующим. Из него изготавливают некоторые детали машин, например лопатки бензонасосов, но более широко его используют в виде теплозащитных покрытий, поскольку при кратковременных воздействиях выдерживает температуру до 3000 °С вследствие абляции.

# Стеклопластики.

**Стеклотекстолиты.** В этих материалах в роли наполнителя выступают стеклянные ткани различного переплетения (гарнитурного, сатинового и кордового); усиленные нити основы укладываются в направлении, совпадающем с деформацией, и воспринимают растягивающие нагрузки. В качестве связующих используются все из выше упоминавшихся смол.

Стеклотекстолит на фенолформальдегдном связующем (типа КАСТ) по сравнению с обычным текстолитом более прочен (300—500 МПа); еще более прочными являются стеклотекстолиты на эпоксидном (ЭД-8, ЭД-10) связующем (400—600 МПа).

**Материал СВММ.** Это стекловолокнистый анизотропный материал с наполнителем в виде **стеклянных нитей**, склеенных сразу по выходе из фильер (шпон); связующее может быть различным. Прочность при этом сильно зависит от соотношения продольных и поперечных шпонов.

**Рабочая температура** всех стеклопластиков при длительной работе колеблется от 200 до 400 °С. Однако кратковременно (десятки секунд) они выдерживают температуру в **несколько тысяч градусов** и применяются как, и асботекстолиты, в качестве теплозащитных покрытий.

Стеклопластики обладают также высокой демпфирующей способностью, хорошо работают при вибрационных нагрузках

# Стеклопластики. Углепластики

Стеклопластики являются конструкционным материалом, пригодным для силовых конструкций, несущих деталей летательных аппаратов, кузовов и кабин автомобилей, автоцистерн, железнодорожных вагонов, корпусов судов и лодок; они используются также для изготовления несилowych элементов машин и механизмов: корпусов, кожухов, ограждений, груб, рукояток, бачков, контейнеров и тп.

Наряду со стеклопластиковыми, применяются **углепластики**. Их основными преимуществами являются меньшая плотность (1,4—1,5 т/м<sup>3</sup>), хорошие антифрикционные свойства, высокая статическая прочность (предел прочности КМУ-1 до 1000 МПа), сопротивление усталости и жесткость (модуль упругости до 160 ГПа); они работают при температурах до 300 оС (КМУ-2).

Получают распространение также полимеры с наполнителями из борного волокна (**борволокниты**). Они отличаются высоким сопротивлением сжатию, срезу, низкой ползучестью и высоким модулем упругости. Наибольшим сопротивлением статической усталости обладают борволокниты типа КБ-1 и КБ-2 (350—400 МПа).

# Дополнительные сведения

**Искусственными называют полимеры**, получаемые химической обработкой (модифицированием) природных полимеров. К ним относится, например, **нитроцеллюлоза**.

**Полимеризацией** называется химический процесс образования полимерной цепи за счет соединения молекул мономеров, имеющих кратные связи или способные раскрываться циклические группы.

Методом полимеризации получают **поливинилхлорид**

**Поликонденсация – это процесс** образования полимера из полифункциональных мономеров с выделением низкомолекулярного продукта реакции.

**К поликонденсационным относят полимеры**, образующиеся из полифункциональных мономеров с выделением побочного низкомолекулярного продукта реакции (вода, спирт, аммиак, галогеноводород и др.). При этом строение повторяющегося звена отличается от строения исходного мономера или мономеров.

Методом поликонденсации получают **глифталевую смолу, полиамиды, резольную смолу**

**Полимеры линейной структуры, по сравнению со «сшитыми»**, имеют меньшую прочность

Процессу образования раствора полимера предшествует **набухание**

Процесс самопроизвольного необратимого изменения свойств полимера в процессе его хранения или эксплуатации **называется старением**

**При увеличении степени кристалличности полимера** увеличивается прочность

# Композиционные материалы

**Композиционные материалы** – это материалы, состоящие из двух или более компонентов, объединенных в монолит и сохраняющих индивидуальные свойства.

Компонент, который обладает непрерывностью по всему объему называется **матрицей**. Функции матрицы: объединять в монолит остальные компоненты, воспринимать и равномерно распределять внешнюю нагрузку.

Свойства композиционного материала так же существенно зависят от природы и строения наполнителя (понятие имеет тот же смысл, что у пластмасс). Наполнитель композиционного материала по своей геометрии может быть **нульмерным (порошок), одномерным (нить), двумерным (полотно)**.

**Изотропны композиционные материалы**, упрочненные *равномерно распределенными нуль-мерными* наполнителями.

К композиционным материалам с нуль-мерными наполнителями относят **дисперсно-упрочненные материалы**. В качестве наполнителей дисперсно-упрочненных композиционных материалов используют **частицы оксидов, нитридов**

**Одномерными называют наполнители**, имеющие малые размеры в двух направлениях и значительно превосходящий их размер в третьем (волокна).

Наполнители композиционных материалов, один из размеров которых значительно превосходит два других, называются **одномерными**

В качестве одномерных наполнителей композиционных материалов на металлической основе используют **металлическую проволоку, борные, углеродные волокна**.

По схеме расположения наполнители бывают **одноостные** – нити расположены в одном направлении, **двухостные** – нити расположены в двух осях (плоское расположение), **трехосные** (объемные) – нити образуют пространственную решетку.



# Композиционные материалы

В качестве одномерных наполнителей композиционных материалов на металлической основе используют металлическую проволоку, борные, углеродные волокна

В качестве наполнителя **углерод-углеродных композиционных материалов** используют углеродные волокна или ткани

**Органоволокнитами называют композиционные материалы** на основе полимерной матрицы, упрочненные синтетическими волокнами.

Композиционные материалы на основе полимерных матриц отличаются от композитов на металлической основе **меньшей теплостойкостью**. Они технологичны, имеют меньшую плотность, в ряде случаев – высокие удельные прочность и жесткость.

Дисперсно-упрочненные композиционные материалы на металлической основе получают чаще всего методом **порошковой металлургии**

Примером КМ с нульмерным наполнителем на основе металлической матрицы является САП (спеченный алюминиевый порошок). При увеличении содержания оксида алюминия **прочность САП** увеличивается.

Основным преимуществом **САП** перед другими сплавами на основе алюминия является высокая **жаропрочность**

**Керамическими композиционными** материалами называют материалы, в состав которых входят керамическая матрица и металлический или неметаллический наполнитель

Композиционные материалы, содержащие два или более различных наполнителя, называются **полиармированными**

•

# Резиновые материалы.

**Резины** – синтетический материал, состоящий из полимера каучука (связующее), наполнителя (сажа, оксид кремния, оксид титана, мел, тальк), пластификатора (канифоль, вазелин), стабилизатора (парафин, воск), вулканизатора (сера, оксид цинка).

**Характерными свойствами резин являются** эластичность, высокое электрическое сопротивление .

Эластичность – способность подвергаться значительным – до 1000% обратимым деформациям

Общим признаком эластичности является макромолекулярное строение и способность к вулканизации.

Переход пластичного каучука в эластичную резину называется **вулканизацией**.

**Вулканизация** представляет из себя процесс поперечного сшивания линейных макромолекул в в редкосетчатую структуру. В качестве сшивающего агента используется **сера**.

**Натуральный каучук (нк)** – обладает наилучшим комплексом свойств: максимальные удлинения при разрыве, морозоустойчивость (-750С), прочность.

**Изопреновый каучук (ски)** – наиболее близок по свойствам к натуральному.

**Фторсодержащий (скф)** – обладает высокой бензомаслостойкостью, но является наименее морозостойкими (становятся хрупкими при -250С).

# Резиновые материалы

## Процесс изготовления резиновых изделий

Процесс изготовления резиновых изделий состоит из ряда операций, выполняемых в строгой последовательности:

- Подготовка компонентов. На этой стадии каучук пластифицируют, пропуская через нагретые валки.
- Смешивание компонентов. Здесь соблюдают не только пропорции, но и последовательность введения компонентов: первыми вводят стабилизаторы, последними вулканизаторы, завершается смешиванием.
- Коландрование. На этом этапе смесь пропускают в разогретых валках и получают сырую резину в виде листов, лент различных размеров.
- Формирование изделий. Проводят методами прессования или листья под давлением.
- Вулканизация. Завершающая операция, формирующая окончательные свойства резины. Чаще всего проводят воздействием температуры. В качестве **вулканизатора** при производстве резин часто **используют серу**

# Резиновые материалы

- Изменение свойств резины в процессе эксплуатации в результате воздействия окружающей среды называется **старением**
- Для производства **электроизоляционных резин** применяют **неполярные каучуки**
- По структуре и свойствам к натуральному каучуку близок синтетический изопреновый каучук (СКИ), получаемый полимеризацией изопрена (2-метилбутадиена-1,3).
- Для **повышения прочности** в состав резины вводят **наполнители**
- Для получения **теплостойких резин** используют **кремнийорганический каучук**. Диапазон рабочих температур для этих резин составляет от 60 до 250° С.
- С целью **замедления процесса старения** в состав резин **вводят антиоксиданты**
- **Пластификаторы** вводят в состав резин с **целью облегчения процесса переработки, увеличения эластичности и морозостойкости**
- В качестве **наполнителей резин** используют **мел, сажу**
- **Макромолекулы каучука имеют линейную структуру.**

# Стекло

В качестве машиностроительных материалов применяются **технические стекла и ситалы**.

**Неорганическое стекло** – однородное **аморфное** вещество, полученное при затвердевании расплава **кислотных и основных оксидов**, среди которых хотя бы один является стеклообразующим (оксиды кремния, бора, фосфора и др.).

Обладают механическими свойствами хрупкого тела. В стекле могут присутствовать оксиды трех типов.

- **Стеклообразующие** – оксиды кремния, бора, фосфора, мышьяка.
- **Модифицирующие** – оксиды щелочных К, Na и щелочноземельных Ca, Mg, Ba металлов, существенно понижают температуру плавления стекла.
- **Промежуточные** – оксиды алюминия, свинца, титана, железа – могут замещать часть стеклообразующих оксидов.

Структура и свойства стекла определяются его химическим составом, условиями варки, охлаждения и обработки.

Стекло широко применяют в разных областях благодаря сочетанию физико-химических свойств. Кварцевое представляет собой однокомпонентное (99% SiO<sub>2</sub>) стекло и обладает максимальной теплостойкостью (выдерживает перепад температур).

Технические стекла применяются при изготовлении транспортных средств, в оптических приборах и инструментах; из них изготавливают также стеклонити, вату, широко применяемую в качестве теплозвукоизоляционного материала в транспортных средствах и в холодильной технике.

**Механические свойства** и термостойкость **неорганических стекол** улучшаются путем **закалки**

**Пеностекло** – это застывшая вспененная стекольная масса. Имеет малую плотность, низкую тепло- и звукопроводимость.

Для изготовления **тиглей, лабораторной посуды** используют **кварцевое стекло**

# Ситаллы

**Ситаллы** – стеклокристаллические материалы, получают путем кристаллизации стекла. Обладают очень высокой прочностью (2...3 раза выше стекол), твердостью, износостойкостью.

Фотоситаллы, термоситаллы. В термоситаллах ситаллизация производится при повторном нагреве (термообработке) после формования изделия методом стекольной технологии.

В фотоситаллах кристаллизация инициируется ультрафиолетовым или рентгеновским излучением.

Применяют для изготовления подшипников скольжения, поршней двигателей внутреннего сгорания.

Свойства ситаллов сильно меняются в зависимости от степени кристаллизации (от 30 до 95 %); прочность при растяжении 110—160 МПа, а при изгибе 70—350 (до 560) МПа и мало изменяется при нагреве до 700—780 оС;

Ударная вязкость у ситаллов выше, чем у технических стекол (0,45—1,05 д/см<sup>2</sup>). Они обладают и более высокой теплостойкостью (500—900 оС).

Ситаллы применяются для изготовления жаростойких деталей двигателей внутреннего сгорания, лопастей воздушных компрессоров, сопел ракетных двигателей, труб для химической промышленности, фильер для вытягивания синтетических волокон, оболочек и деталей приборов, а также в качестве жаростойких покрытий.