

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
(ВлГУ)**

**Кафедра ТФи КМ**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
к практическим занятиям по дисциплине  
**НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ И АМОΡФНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

<b>Направление подготовки</b>	22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов»
<b>Квалификация(степень) выпуска</b>	бакалавр
<b>Форма обучения</b>	очная

Составитель  
Д.т.н., профессор Христофоров А.И

Владимир 2019 г.

Данные методические указания включают рекомендации по содержанию и выполнению практических занятий по дисциплине «Неметаллические и аморфные материалы» для студентов направления 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов» ВлГУ.

Методические указания составлены на основе требований ФГОС ВО и ОПОП направления 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов» ВлГУ, рабочей программы дисциплины «Неметаллические и аморфные материалы». Составитель д.т.н, профессор Христофоров А.И.-Владимир, 2019, 40с

Рассмотрены и одобрены на  
заседании УМК направления  
22.03.01 «Материаловедение и  
технологии материалов»  
Протокол № 8 от 7.05. 2019 г.

**Рукописный фонд кафедры  
ТФиКМ ВлГУ**

## Практические занятия

Практические занятия являются формой групповой аудиторной работы в небольших группах для освоения теоретических навыков с целью формирования основных общекультурных и профессиональных компетенций, необходимых для освоения основной образовательной программы (ПК- 4, 5, 1 1). Содержание практических занятий представлено в таблице

Таблица. Содержание практических занятий

Наименование и содержание практических занятий	стр
Практическое занятие 1 Неметаллические материалы	4
Практическое занятие 2 Классификация полимерных материалов	6
Практическое занятие 3. Структура полимерных материалов.	9
Практическое занятие 4. Пластические массы и композиты на их основе.	13
Практическое занятие 5. Керамические материалы.	18
Практическое занятие 6. Стекло, виды стекол, применение.	23
Практическое занятие 7 Композиционные материалы	26
Практическое занятие 8. Огнеупоры	31
Практическое занятие 9 Аморфные металлы и сплавы	36
Библиографический список	40

### Оформления отчета по практическим занятиям

1. Титульный лист
2. Текст теоретической и исследовательской частей
3. Односторонняя печать, формат А4, шрифт 14 пт, расстояние между строками 1 интервал

## Практическое занятие 1

### Тема 1 Неметаллические материалы

**1. Цель практического занятия:** освоить общую характеристику неметаллических и аморфных материалов

**2. План проведения занятий с указанием последовательности тем:**

1. Цели и задачи курса «Неметаллические и аморфные материалы»
2. Общая характеристика аморфных тел
3. Неметаллические материалы
4. Аморфные металлические сплавы
5. Полимерные материалы

**3. Используемые технологии преподавания:**

Практические занятия проводятся в виде семинара, на котором студенты рассматривают теоретический материал и отвечают на вопросы, поставленные преподавателем. Далее идет обсуждение вопросов темы.

**4. Вопросы, выносимые на обсуждение (теоретический материал).**

**По вопросу 1:**

1. Целями освоения дисциплины «Неметаллические и аморфные материалы» являются формирование у студентов знаний о современных неметаллических материалах, способах их получения и обработки, обучение научным основам выбора материала с учетом его состава, структуры, термической обработки и достигающихся при это- эксплуатационных и технологических свойств, необходимых для машиностроения.

В результате освоения данной дисциплины у студентов формируются основные общекультурные, общепрофессиональные и профессиональные компетенции, отвечающие требованиям ФГОС ВО. к результатам освоения ОПОП ВО по направлению 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов».

Для успешного усвоения студентами курса «Неметаллические и аморфные материалы» необходимо знание основных курсов высшей математики, химии, физики.

Результаты изучения дисциплины используются в дальнейшем при изучении курсов: «Технология неметаллических материалов функционального и конструкционного назначения», «Материаловедение наноматериалов и наносистем», «Методы исследования материалов и процессов», «Выбор материалов и технологий в машиностроении», «Материалы с особыми свойствами»; а также при курсовом проектировании и выполнении квалификационной работы.

**По вопросу 2** У аморфных тел нет строгого порядка в расположении атомов. Только ближайшие атомы - соседи располагаются в некотором порядке. Но строгой направленности

по всем направлениям одного и того же элемента структуры, которая характерна для кристаллов в аморфных телах, нет. Часто одно и то же вещество может находиться как в кристаллическом, так и в аморфном состоянии. Например, кварц  $\text{SiO}_2$ , может быть как в кристаллической, так и в аморфной форме (кремнезем).

Аморфные тела занимают промежуточное положение между кристаллическими твёрдыми телами и жидкостями. Их атомы или молекулы располагаются в относительном порядке. Понимание структуры твёрдых тел (кристаллических и аморфных) позволяет создавать материалы с заданными свойствами.

При внешних воздействиях аморфные тела обнаруживают одновременно упругие свойства, подобно твёрдым телам, и текучесть, подобно жидкости. При охлаждении жидкого вещества не всегда происходит его кристаллизация. При определенных условиях может образоваться неравновесное твердое аморфное (стеклообразное) состояние. В стеклообразном состоянии могут находиться простые вещества (углерод, фосфор мышьяк, сера, селен), оксиды (например, бора, кремния, фосфора), галогениды, халькогениды, многие органические полимеры. В этом состоянии вещество может быть устойчиво в течение длительного промежутка времени. Под действием механических нагрузок или при изменении температуры аморфные тела могут закристаллизоваться. Реакционная способность веществ в аморфном состоянии значительно выше, чем в кристаллическом.

Существуют вещества, которые в твердом виде могут находиться только в аморфном состоянии. Это относится к полимерам с нерегулярной последовательностью звеньев.

**По вопросу 3** Неметаллические материалы – это органические, и неорганические полимерные материалы: различные виды пластических масс, композиционные материалы на неметаллической основе, каучуки и резины, клеи, герметики, лакокрасочные покрытия, а также графит, стекло, керамика. В качестве конструкционных материалов они служат важным дополнением к металлам, в некоторых случаях с успехом заменяют их, а иногда сами являются незаменимыми. Достоинством неметаллических материалов являются такие их свойства, как достаточная прочность, жесткость и эластичность при малой плотности, светопрозрачность, химическая стойкость, диэлектрические свойства, делают эти материалы часто незаменимыми.

**По вопросу 4** Аморфные металлические сплавы (металлические стёкла) - это металлические твёрдые вещества, в которых отсутствует дальний порядок в расположении атомов. Это придаёт им целый ряд существенных отличий от обычных кристаллических металлов. Аморфные сплавы были впервые получены в 1960 г. П. Дувезом, однако их широкие исследования и промышленное использование начались спустя десятилетие -после того, как в 1968 г. был изобретён метод спиннингования. В настоящее время известно несколько сотен аморфизирующихся систем сплавов, достаточно подробно изучены структура и свойства металлических стёкол, расширяется область их применения в промышленности.

**По вопросу 5** Полимерными материалами (ПМ) называются одно- или многокомпонентные системы, основу которых составляют высокомолекулярные соединения или полимеры. Состав ПМ весьма разнообразен и колеблется от почти индивидуальных полимеров до сложных систем, включающих разнообразные компоненты, регулирующие технологические и эксплуатационные свойства материала.

Для ПМ характерны широкие возможности регулирования состава, структуры и свойств, что не всегда может быть достигнуто в традиционных материалах (металлы, керамика, древесина). Поэтому, многовариантность свойств обуславливает весьма широкое и многообразное использование ПМ — от химических волокон и поропластов до твердого ракетного топлива.

### **Контрольные вопросы**

1. Цели и задачи курса «Неметаллические и аморфные материалы»
2. Общая характеристика аморфных тел
3. Неметаллические материалы
4. Аморфные металлические сплавы
5. Полимерные материалы

## **Практическое занятие 2**

**Тема 2** Классификация полимерных материалов

**1. Цель практического занятия:** освоить общую классификацию полимерных материалов

**2. План проведения занятий с указанием последовательности тем:**

- 1 Классификация полимеров.
2. Особые свойства ПМ
3. Недостатки ПМ
4. Методы переработки ПМ в изделия
5. Потребителями ПМ
6. Полиэтилен

**3. Используемые технологии преподавания:**

Практические занятия проводятся в виде семинара, на котором студенты рассматривают теоретический материал и отвечают на вопросы, поставленные преподавателем. Далее идет обсуждение вопросов темы.

**4. Вопросы, выносимые на обсуждение (теоретический материал).**

**По вопросу 1**

Для ПМ характерны широкие возможности регулирования состава, структуры и свойств, что не всегда может быть достигнуто в традиционных материалах (металлы, керамика, древесина). Поэтому, многовариантность свойств обуславливает весьма широкое и многообразное использование ПМ - от химических волокон и поропластов до твердого ракетного топлива.

Полимерные материалы классифицируют по области их использования и назначения, природе полимерной фазы, физическим и химическим превращениям, протекающим в ней при производстве и обработке.

**По использованию и назначению** ПМ делятся на:

- пластические массы (пластики) и композиты;
- эластомеры (каучуки и резины);
- химические волокна и пленки;
- полимерные покрытия, клей и герметики.

**По природе полимерной фазы** (матрицы) ПМ делятся на:

- природные (натуральные);
- химические (искусственные и синтетические).

**По характеру превращений**, протекающих в полимерной фазе на стадиях производства и переработки в изделия, ПМ делятся на:

- термопластичные;
- термореактивные.

## **По вопросу 2**

Особые свойства ПМ:

1. Малая плотность и, как следствие, высокий условный показатель прочности («весовая прочность»), то есть отношение временного сопротивления на разрыв к плотности превышающий аналогичный показатель лучших сортов стали.

2. Стойкость к агрессивным средам, атмосферному и радиационному воздействиям.

3. Высокие радио- и электротехнические свойства, в том числе диэлектрические показатели, мало зависящие от температуры и частоты электрического поля.

4. Широкий диапазон фрикционных и антифрикционных свойств.

5. Специфические оптические свойства, способность пропускать лучи света в широком диапазоне волн, в том числе, ультрафиолетовые (70% для полиметилметакрилата против 1—3% для силикатного стекла).

6. Многообразие физико-механических свойств (от жестких до упругих резиноподобных материалов) и сочетание в одном материале противоположных качеств, например, твердости и гибкости («бронированные» полимеры).

## **По вопросу 3.**

К недостаткам ПМ относятся:

- низкая теплостойкость (исключая фторопласты и кремнийорганические полимеры), она не превышает 120 °С;

- недостаточная твердость (6—60 кг/мм<sup>2</sup> по Бринелю);

- ползучесть и релаксация напряжения;
- большое тепловое расширение;
- низкая теплопроводность, затрудняющая отвод тепла (в 500—600 раз ниже теплопроводности металлов).

#### **По вопросу 4.**

Методы переработки ПМ в изделия

Методы переработки: холодное и горячее прессование, литье под давлением, вакуумформование, заливка в форму, вспенивание, экструзия, вакуум- и пневмоформование и др., коэффициент использования материала при переработке ПМ достигает 0,95 - 0,98, в то время как при литье он составляет 0,6 - 0,8, а при механической обработке металлов всего 0,2 - 0,6. Процессы изготовления изделий из ПМ являются наиболее экономичными.

В структуре общего потребления конструкционных материалов черные металлы составляли 63,7%, цветные металлы 6,3% и полимерные материалы около 30%.

#### **По вопросу 5**

Потребителями ПМ стали практически все отрасли промышленности и народного хозяйства. К ним относятся:

- 1) общее машиностроение;
- 2) авиастроение;
- 3) автомобилестроение;
- 4) электротехника и радиоэлектроника;
- 5) железнодорожный транспорт;
- 6) судостроение;
- 7) строительство;
- 8) сельское и водное хозяйство;
- 9) пищевая промышленность;
- 10) медицина.

Внедрение ПМ вызвало также качественный скачок в развитии техники и технологии, определило технический прогресс в современном машиностроении, ракетной и атомной промышленности, в самолетостроении, телевидении, радиоэлектронике, восстановительной хирургии и медицине в целом и др. [7].

#### **По вопросу 6**

Полиэтилен  $(-\text{CH}_2-\text{CH}_2-)_n$  — карбоцепной термопластичный кристаллический полимер белого цвета (рис. 2) со степенью кристалличности при 20 °С 0,5—0,9. При нагревании до температуры, близкой к температуре плавления он переходит в аморфное состояние. Макромолекулы полиэтилена (ПЭ) имеют линейное строение с небольшим количеством боковых

ответвлений. ПЭ водостоек, не растворяется в органических растворителях, но при температуре выше 70°C набухает и растворяется в ароматических углеводородах и галогенпроизводных углеводородов. Стоек к действию концентрированных кислот и щелочей, однако разрушается при воздействии сильных окислителей. Обладает низкой газо- и паропроницаемостью. Звенья ПЭ неполярны, поэтому он обладает высокими диэлектрическими свойствами и является высокочастотным диэлектриком. Практически безвреден. Может эксплуатироваться при температурах от -70 до +60°C. Свойства ПЭ существенно зависят от способа полимеризации, в соответствии с чем различают ПЭ высокого давления или низкой плотности (ПЭВД) и ПЭ низкого давления или высокой плотности (ПЭНД).

### **Контрольные вопросы**

- 1 Классификация полимеров.
2. Особые свойства ПМ
3. Недостатки ПМ
4. Методы переработки ПМ в изделия
5. Потребители ПМ
6. Полиэтилен

### **Практическое занятие 3**

**Тема 3** Структура полимерных материала.

- 1. Цель практического занятия:** изучить закономерности формирования структуры полимерных материалов
- 2. План проведения занятий с указанием последовательности тем:**
  - 1 Форма макромолекул
  2. Пространственные полимеры
  3. Формы макромолекул полимеров
  4. Элементы надмолекулярной структуры полимеров
  5. Полярные и неполярные полимеры
  6. Термопластичные и термореактивные полимеры
- 3. Используемые технологии преподавания:**

Практические занятия проводятся в виде семинара, на котором студенты рассматривают теоретический материал и отвечают на вопросы, поставленные преподавателем. Далее идет обсуждение вопросов темы.

#### 4. Вопросы, выносимые на обсуждение (теоретический материал).

##### По вопросу 1

По форме макромолекул полимеры делят на линейные (цеповидные), разветвленные, плоские, ленточные (лестничные), пространственные или сетчатые. *Линейные* макромолекулы полимера представляют собой длинные зигзагообразные или закрученные в спираль цепочки (рис. 1, а). Гибкие макромолекулы с высокой прочностью вдоль цепи и слабыми межмолекулярными связями обеспечивают эластичность материала, способность его размягчаться при нагреве, а при охлаждении вновь затвердевать (полиэтилен, полиамиды и др.). *Разветвленные* макромолекулы (рис. 1, б), являясь также линейными, отличаются наличием боковых ответвлений, что препятствует их плотной упаковке (полиизобутилен). Макромолекула *лестничного* полимера (рис. 1, в) состоит из двух цепей, соединенных химическими связями. Лестничные полимеры имеют более жесткую основную цепь и обладают повышенной теплостойкостью, большей жесткостью, они нерастворимы в стандартных органических растворителях (кремнийорганические полимеры).

**По вопросу 2.** Пространственные полимеры образуются при соединении («сшивке») макромолекул между собой в поперечном направлении прочными химическими связями непосредственно или через химические элементы или радикалы. В результате образуется сетчатая структура с различной плотностью сетки. *Редкосетчатые* (сетчатые) полимеры (см. рис. 1, д) теряют способность растворяться и плавиться, они обладают упругостью (мягкие резины). *Густосетчатые* (пространственные) полимеры (см. рис. 1, г) отличаются твердостью, повышенной теплостойкостью, нерастворимостью. Пространственные полимеры: пластинчатые (*паркетные*) полимеры (рис. 1, е).

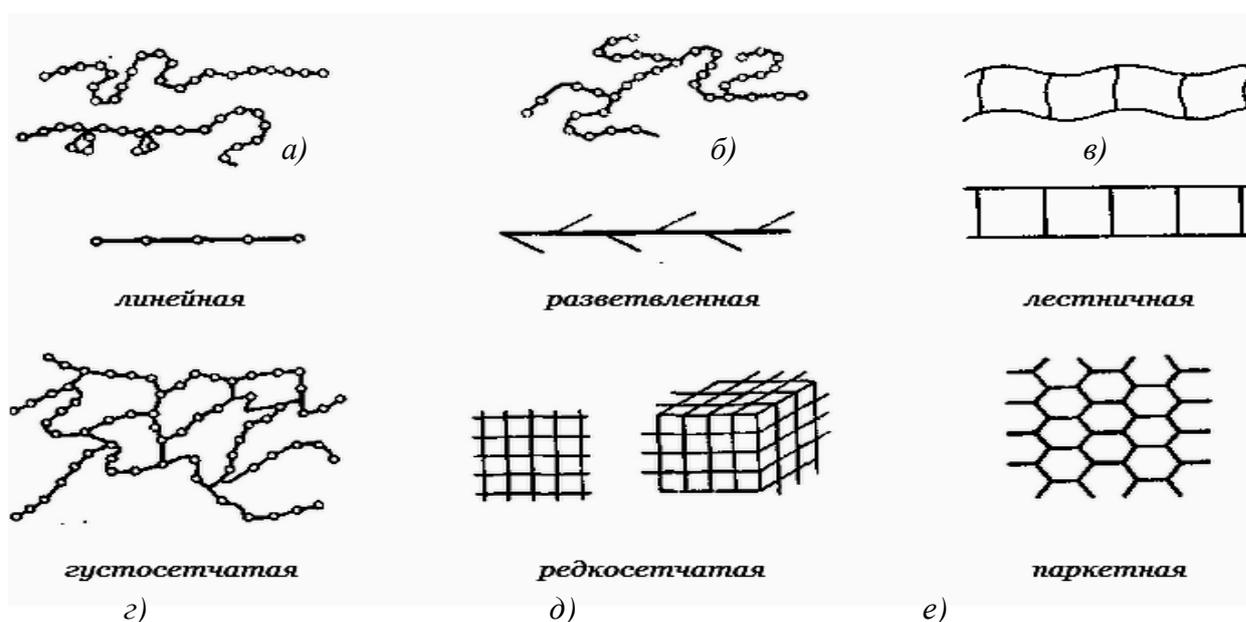


Рисунок 1 Структура полимерных молекул

### По вопросу 3 Формы макромолекул полимеров

В зависимости от *взаимной ориентации макромолекул* полимеры могут находиться в аморфном или кристаллическом состояниях. В *аморфном* состоянии полимер имеет упорядоченное строение только в пределах участков, размеры которых соизмеримы с размерами звеньев цепи макромолекул, т.е. в аморфных полимерах соблюдается ближний порядок. В *кристаллических* полимерах соблюдается не только ближний, но и дальний порядок на расстояниях, во много раз превышающих размеры звеньев цепи макромолекул полимера. В структуре реальных полимеров практически всегда содержатся как аморфная, так и кристаллическая части. По преобладанию той или иной структуры полимеры делят на аморфные и кристаллические.

### По вопросу 4

Характерными элементами надмолекулярной структуры полимеров являются *глобула* (рис. 2, а) для аморфных структур и *пачка* (рис. 2, б) для кристаллических. Глобула представляет собой свернутые в клубок цепи макромолекул полимера или их агрегатов. Пачка состоит из параллельно расположенных цепей, причем суммарная длина пачки, как правило, превышает длину отдельных цепей макромолекул полимера.

Аморфное состояние для большинства полимеров термодинамически более устойчиво, что определяется энергетически более выгодной формой надмолекулярного образования аморфного полимера: глобула обладает минимумом свободной энергии.

Выделяющаяся в процессе полимеризации кристаллизующегося полимера пачка макромолекул характеризуется анизотрией, поэтому энергетически выгодным является ее расположение параллельно поверхности кристаллизации. Взаимосогласованная ориентация макромолекул относительно поверхности кристаллизующихся полимеров определяет все многообразие надмолекулярных структур кристаллизующихся полимеров. Термодинамически наиболее устойчивой формой надмолекулярного образования является *сферолит* (рис. 2, в), сформированный тангенциально расположенными пачками макромолекул. Сферолитные структуры типичны для большинства кристаллизующихся полимеров.

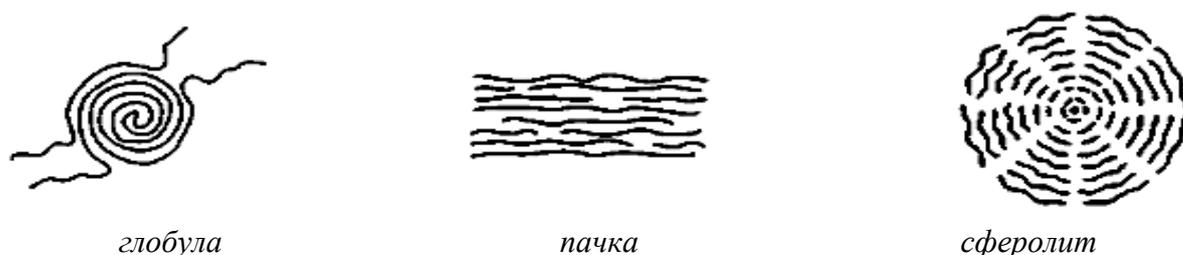


Рис. 2. Элементы надмолекулярной структуры полимеров

На поверхностях раздела сферолитов условия контактного взаимодействия макромолекул различны. Экспериментально установлено, что прочность торцового контакта макромолекул более чем на порядок превышает прочность бокового контакта. Это открывает возможность управления прочностью кристаллизующихся полимеров.

Примером практической реализации влияния надмолекулярной структуры на прочность может служить ориентационное упрочнение полимеров. Ориентационное упрочнение полимеров наиболее широко применяется при получении искусственных волокон и пленок.

### По вопросу 5.

По отношению к электрическому полю (*по полярности*) полимеры подразделяются на *полярные* и *неполярные*. Полярность определяется наличием в составе полимера диполей – разобщенных центров положительных и отрицательных зарядов. В *полярных* полимерах (рис. 3, а) имеются полярные связи (группировки –Cl, –F, –ОН) и несимметрия в их структуре: Центр тяжести электронов сдвинут в сторону более электроотрицательного атома. Центр тяжести разноименных зарядов не совпадают. Полярные полимеры имеют повышенную прочность, жесткость, но низкую морозостойкость (хрупкость уже при  $-10\dots-20^{\circ}\text{C}$ ). Их можно сваривать током высокой частоты. Полярности полимера можно оценить по величине диэлектрической проницаемости  $E$ . У полярных полимеров  $E \geq 3,5$ .



Рис. 3 Пример полярного и неполярного полимера

*Неполярные* (на основе углеводородов) – высококачественные диэлектрики, обладают хорошей морозостойкостью.

Дипольный момент связей атомов в неполярных полимерах взаимно компенсируется. В макромолекулах неполярных полимеров симметричное расположение групп (рис. 3, б). Центры тяжести разноименных зарядов совпадают.

### По вопросу 6.

Все полимеры *по отношению к нагреву* подразделяют на *термопластичные* и *термореактивные*. Некоторые полимеры при нагревании плавно переходят через вязкопластическое в жидкотекучее состояние. При охлаждении отмечается также плавный переход в твердое состояние. Нагревание полимера до температур ниже температуры его термической деструкции не вызывает необратимого изменения свойств материала, что позволяет многократно повторять процесс термической обработки линейных полимеров. Такие структуры макромолекул образуют класс *термопластичных полимеров*.

Другие полимеры под действием теплоты, минуя жидкое состояние, необратимо переходят в твердое состояние и не могут использоваться повторно. Такое поведение полимеров при нагревании называют терморективным, а сами полимеры относят к классу *терморективных полимеров*.

#### **Контрольные вопросы**

1. Форма макромолекул
2. Пространственные полимеры
3. Формы макромолекул полимеров
4. Элементы надмолекулярной структуры полимеров
5. Полярные и неполярные полимеры
6. Термопластичные и терморективные полимеры

### **Практическое занятие 4**

**Тема 4** Пластические массы и композиты на их основе.

**1. Цель практического занятия:** изучить закономерности формирования структуры полимерных материалов

**2. План проведения занятий с указанием последовательности тем:**

1. Связующее вещество
2. Наполнители
3. Пластификаторы, стабилизаторы, отвердители, специальные химические добавки, смазывающие вещества, красители и пигменты
4. Свойства пластмасс, достоинства и недостатки
5. Термопласты и реактопласты
6. Пластмассы с волокнистым наполнителем
7. Газонаполненные пластмассы
8. Методы переработки пластических масс

**3. Используемые технологии преподавания:**

Практические занятия проводятся в виде семинара, на котором студенты рассматривают теоретический материал и отвечают на вопросы, поставленные преподавателем. Далее идет обсуждение вопросов темы.

**4. Вопросы, выносимые на обсуждение (теоретический материал).**

#### **По вопросу 1**

*Связующее вещество* в композитах является обязательным компонентом. Такие простые пластмассы, как полиэтилен, вообще состоят из одного связующего вещества. Пластические массы (пластмассы) – это синтетические материалы, получаемые на основе органических и элементо-органических полимеров. Свойства пластмасс определяются свойствами полимеров, составляющих их основу. *По составу* пластмассы могут быть простыми (термопла-

сты – химические полимеры линейной или разветвленной структуры) и сложными (которые помимо полимеров, содержат различные добавки: наполнители, красители, пластификаторы, отвердители и т.д.).

### **По вопросу 2.**

*Наполнителями* служат твердые материалы органического и неорганического происхождения. Наполнители придают пластмассам прочность, твердость, теплостойкость, а также некоторые специальные свойства, например антифрикционные или наоборот фрикционные. Кроме того, наполнители снимают усадку при прессовании.

В зависимости от наполнителя различают пресс-порошковые, волокнистые и слоистые пластмассы, а также пенопласты, когда наполнитель применяется в виде газа (воздух или нейтральный газ).

### **По вопросу 3**

*Пластификаторы* представляют собой нелетучие жидкости с низкой температурой замерзания. Растворяясь в полимере, пластификаторы повышают его способность к пластической деформации. Пластификаторы вводят для расширения температурной области высокоэластического состояния, снижения жесткости пластмасс и температуры хрупкости. В качестве пластификатора применяют сложные эфиры, низкомолекулярные полимеры и др. Пластификаторы должны оставаться стабильными в условиях эксплуатации. Их наличие улучшает морозостойкость и огнестойкость пластмасс.

В состав пластмасс могут также входить стабилизаторы, отвердители, красители и другие вещества. *Стабилизаторы* вводят в пластмассы для повышения долговечности. Светостабилизаторы предотвращают фотоокисление, а антиокислители – термоокислительные реакции. *Отвердители* изменяют структуру полимеров, влияя на свойства пластмасс. Чаще используют отвердители, ускоряющие полимеризацию. К ним относятся оксиды некоторых металлов, уротропин и др. *Специальные химические добавки* вводят с различными целями; например, сильные органические яды – фунгициды – для предохранения пластмасс от плесени и поедания насекомыми в условиях тропиков. *Смазывающие вещества* (стеарин, олеиновая кислота) применяют для предотвращения прилипания пластмассы к оборудованию при производстве и эксплуатации изделий. *Красители* и *пигменты* придают пластмассам желаемую окраску.

### **По вопросу 4**

Для пластмасс характерны следующие свойства:

- низкая плотность (обычно 1–1,8 г/см<sup>3</sup>, в некоторых случаях (для пенопластов) 0,02–0,04 г/см<sup>3</sup>);
- высокая коррозионная стойкость.;

- высокие диэлектрические свойства;
- хорошая окрашиваемость в любые цвета;
- механические свойства широкого диапазона;
- антифрикционные свойства;
- высокие теплоизоляционные свойства;
- хорошие технологические свойства.

Недостатком большинства пластмасс является их невысокая теплостойкость (100–120 °С). В настоящее время верхний температурный предел для некоторых пластмасс поднялся до 300–400 °С. Пластмассы могут работать при умеренно низких температурах (до -70 °С), а в отдельных случаях – при криогенных температурах. Недостатками пластмасс также являются их низкая твердость, склонность к старению, ползучесть, нестойкость к большим статическим и динамическим нагрузкам. Однако достоинства пластмасс значительно превосходят их недостатки, что обуславливает высокие темпы роста их ежегодного производства.

### **По вопросу 5**

По характеру связующего вещества пластмассы подразделяют на термопластичные (термопласты), получаемые на основе термопластичных полимеров, и терморективные (реактопласты), получаемые на основе терморективных смол.

**Реактопласты.** Эти материалы изготавливаются на основе терморективных смол – формальдегидных, аминоальдегидных, эпоксидных, кремнеорганических, полиамидных, полиэфиров, которые являются связующим веществом. Пластмассы с порошковым наполнителем. В качестве наполнителя применяют *древесную муку, молотые кварц, асбест, слюду, графит* и т.д. Имеют невысокие механические свойства, водостойки, химически стойки, обладают повышенными электроизоляционными показателями, устойчивы к влажному тропическому климату.

Пластмассы на основе резольных и наволочных смол с асбестовым или слюдяным наполнителем. Жаростойки и влагостойки

### **По вопросу 6**

Пластмассы с волокнистым наполнителем. В зависимости от наполнителя различают следующие марки пластмасс: *хлопковые очесы (волокнит) Вл, асбестовые нити (асбоволокнит) Кб, КФЗ, стеклянное волокно – стекловолокнит (АГ-4В, АГ-4С)*. Эти материалы обладают большей, чем порошковые пластмассы, ударной вязкостью и прочностью при растяжении.

*Асбоволокниты.* Наполнитель – асбест, связующее – формальдегидная смола. Применяют для фрикционных дисков, колодок тормозов.

*Стекловолокниты.* Наполнитель – стекловолокно, связующее – синтетическая смола. Применяют для деталей любой конфигурации, работающих в диапазоне температур  $-60^{\circ}$  до  $200^{\circ}\text{C}$ . Волокниты применяют также для деталей общего технического назначения: силовые детали (шкивы, моховики, втулки), электроизоляторы.

*Слоистые пластмассы (текстолиты).* Наполнитель – листы различных материалов, уложенные слоями.

*Текстолит.* Наполнитель – хлопчатобумажная ткань, связующее – терморезистивные смолы. По назначению подразделяются на конструктивные (ПТК, ПТ, ПТМ), электротехнические (А, БГ, ВЧ), гибкие – прокладочные. Применяются для изготовления зубчатых колес, вкладышей подшипников.

*Асботекстолит.* Наполнитель – асбестовая ткань и до 43% связующие смолы. Конструкционный, фрикционный и термоизоляционный материал.

Применяют для изготовления лопаток бензонасосов, фрикционных дисков, тормозных колодок, в качестве теплозащитного и теплоизоляционного материала.

*Стеклотекстолит.* Наполнитель – стеклянные ткани из органически стекла. Обладает высокой прочностью ( $\sigma_{\text{в}} > 500 \text{ МПа}$ ), по удельной прочности превосходит металлические сплавы, коррозионностоек, теплостоек, имеет высокие диэлектрические свойства. Широко применяется в самолетостроении, электротехнике (обшивка крыльев, закрылки детали оперения и т.д.).

*ДСП* – древесно-слоистая пластмасса. Наполнитель – тонкие листы древесного шпона, пропитанные феноло- и крезольно-формальдегидным смолами и спрессованные в виде листов и плит.

*Гетинакс.* Наполнитель – бумага, основа – различные смолы.

### **По вопросу 7**

Газонаполненные пластмассы – гетерогенные дисперсные системы, состоящие из твердой или упругоэластичной фаз.

Структура этих пластмасс: эластичный полимер как связка, который образует стенки элементарных ячеек или пор с распределенной в них фазой – наполнителем – газом.

Подобная структура определяет малую плотность и высокие теплоизоляционные и звукоизоляционные свойства.

*Пенопласт* изготавливают на основе полистирола, поливинилхлорида, фенола, эпоксидных смол, полиуретана, поролон и др. полимеров при их вспенивании в состоянии высокоэластичной деформации, т.е. при температурах, превышающих  $t_{\text{с}}$  на  $10\text{--}20^{\circ}\text{C}$ . Пенопласта имеют ячеистую структуру, газообразные наполнители отделены друг от друга и от окружающей среды тонким слоем полимера.

Пористая структура получается введением в состав смол газообразователей –  $(\text{NH}_4)\text{CO}_3$ ,  $\text{NaHCO}_3$ , органических порофоров (азодинитрил, подиизоцианид и др.). Пенополистирол (ПС), пенополивинилхлорид (ПВХ) способны работать до  $+60\text{ }^\circ\text{C}$ . Фенолкаучуковые пенопласты способны работать до  $120\text{ }^\circ\text{C}$ . Добавки в их состав алюминиевой пудры (ФК-20-А-20) повышают рабочую температуру до  $250\text{ }^\circ\text{C}$ .

Используются пенопласты как теплоизоляционный материал, применяемый в холодильниках, рефрижераторах, для ударопоглощающей тары, звукоизоляторов и т.д.

*Поропласты* (губчатые материалы) – открытодыристая структура, система ячеек с частично разрушенными перегородками..

*Сотопласты* изготавливают из гофрированных листов полимера, склеенных в виде пчелиных сот. Применяются для обшивки панелей и как теплоизоляционный, электроизоляционный материал.

### **По вопросу 8**

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

1. Экструзия
2. Литье под давлением
3. Прессование (гидравлические прессы с обогреваемыми прессформами)
4. Вальцевание и каландрование
5. Ротационное формование
6. Формование пленок поливом из растворов
7. Формование изделий из листовых термопластов
8. Формование изделий из армированных пластиков
9. Формование изделий из фторопластов
10. Переработка наполненных и высоконаполненных полимеров
11. Переработка газонаполненных пластических масс
12. Сборка изделий из пластмасс
13. Напыление пластмасс
14. Металлизация изделий из пластмасс
15. Механическая обработка заготовок и изделий из пластмасс
16. Производство изделий спеканием и оплавлением

### **Контрольные вопросы**

1. Связующее вещество
2. Наполнители
3. Пластификаторы, стабилизаторы, отвердители, специальные химические добавки, смазывающие вещества, красители и пигменты
4. Свойства пластмасс, достоинства и недостатки
5. Термопласты и реактопласты
6. Пластмассы с волокнистым наполнителем

7. Газонаполненные пластмассы
8. Методы переработки пластических масс

## **Практическое занятие 5**

**Тема 5.** Керамические материалы

**1. Цель практического занятия:** изучить закономерности формирования структуры полимерных материалов

**2. План проведения занятий с указанием последовательности тем:**

1. Керамика
2. Свойства керамики
3. Классификация керамики по структуре и назначению, технология производства изделий
4. Теплоизоляционные, огнеупорные изделия
5. Химически стойкая и кислотоупорная керамика
6. Керамика специального назначения

**3. Используемые технологии преподавания:**

Практические занятия проводятся в виде семинара, на котором студенты рассматривают теоретический материал и отвечают на вопросы, поставленные преподавателем. Далее идет обсуждение вопросов темы.

**4. Вопросы, выносимые на обсуждение (теоретический материал).**

### **По вопросу 1**

Керамика – неорганические поликристаллические материалы, получаемые из сформованных минеральных масс (глины и их смеси с минеральными добавками) в процессе высокотемпературного (1200–2500 °С) спекания.

Состав керамики образован многокомпонентной системой, включающей:

1. кристаллическую фазу (более 50%) – химические соединения и (или) твердые растворы. Кристаллическая фаза является основой керамики и определяет значения механической прочности, термостойкости и других основных свойств;

2. стекловидную (или аморфную) фазу (1–40%) – прослойки стекла, химический состав которого отличается от химического состава кристаллической фазы. Стекловидная фаза ухудшает механическую прочность и тепловые показатели, однако стеклообразующие компоненты (глинистые вещества) облегчают технологию изготовления изделий;

3. газовую фазу – газы, находящиеся в порах. По структуре порового пространства различают керамику с открытыми, т.е. сообщающимися с внешней средой, и закрытыми пора-

ми. Наличие даже закрытых пор ведет к снижению механической и электрической прочности, росту электрических потерь.

Керамика – изотропный материал, так как представляет собой поликристаллическое вещество с мелкими беспорядочно расположенными кристаллами. Керамику с анизотропией свойств получают на основе монокристаллов. Сегнето- и пьезокерамику получают при сохранении остаточной поляризации.

### **По вопросу 2**

Свойства керамики определяются ее составом, структурой и пористостью. К основным свойствам керамических материалов относятся:

- плотность 1800–3900 кг/м<sup>3</sup> и более;
- водопоглощение – для пористой керамики 6–20% по массе (12–40% по объему), а для плотной – 1–5% по массе (2–10% по объему);
- теплопроводность в зависимости от пористости и химического состава 0,8–1,16 Вт/(м·К). Сравнительно высокая теплопроводность у керамики на основе Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и, особенно на основе BeO;
- $\sigma_{\text{раст}}=30\text{--}300$  МПа,  $\sigma_{\text{сж}}=3000$  МПа и более;
- твердость, близкая к твердости алмаза;
- высокая хрупкость;
- высокое электрическое сопротивление, отличные диэлектрические свойства;
- водо-, химическая, коррозионная и жаростойкость.

Недостатком керамики является высокая усадка при спекании – 20–25% и выше, что создает трудности с обеспечением точных размеров изделия. Обработка готовых изделий затруднена, так как спеченная керамика обладает высокой твердостью, режется с трудом и только абразивами.

Изделия из керамики соединяют друг с другом теми же материалами, что и ситаллы: стеклокристаллическим цементом с последующей термической обработкой, клеями и замазками на основе эпоксидной смолы и жидкого стекла, а также металлизацией с последующей пайкой.

### **По вопросу 3**

Керамику классифицируют по вещественному составу, составу кристаллической фазы, структуре и назначению.

По вещественному составу разновидностями керамики являются фаянс, полуфарфор, фарфор, терракота, керметы, корундовая и сверхтвердая керамика и так называемая каменная масса.

Керамические изделия изготавливают способами пластического формования и полусухого прессования с последующей сушкой и спеканием.

При нагреве глины во время спекания в ней начинают последовательно происходить химические и физико-химические процессы, приводящие к полному и необратимому изменению ее структуры:

1. удаление химически связанной воды (500–600 °С);
2. разложение обезвоженной глины на оксиды (800–900 °С);
3. образование новых водостойких и тугоплавких минералов (1000–1200 °С);
4. образование некоторого количества расплава из легкоплавких компонентов глины (900–1200 °С);
5. образование прочного камневидного материала за счет связывания твердых частиц образовавшимся расплавом

Фаянс, полуфарфор и фарфор получают на основе жгущихся белых глин, каолинов, кварца и полевого шпата, взятых в различных соотношениях. Они обладают различной пористостью, что определяет механические свойства и водопоглощение. Фарфор отличается еще большей плотностью (водопоглощение 0,2–0,5%) и прочностью ( $\sigma_{сж}$  до 500 МПа), что позволяет изготавливать из него тонкостенные изделия.

Терракота – керамические изделия (облицовочные плиты, архитектурные детали, посуда и т.д.) с пористым черепком, обычно красного, коричневого или кремового цветов.

Керметы (керамико-металлические материалы) – искусственные материалы, получаемые спеканием металлических и керамических порошков, сочетающие свойства металлов и керамических веществ. Изделия из кермета – детали турбин и авиационных двигателей, режущий инструмент и др.

Корундовая керамика (минералокерамика) – это керамика на основе спеченного оксида алюминия, содержащего не более 2% примесей.

Сверхтвердая керамика – композиционный материал, получаемый на основе нитрида бора.

По структуре (характеру строения черепка) керамика делится на плотную ( $\rho=1-2\%$ ) и пористую ( $\rho=15-20\%$ ). Пористые керамики поглощают более 5% воды (по массе), а плотные 1–4% по массе или 2–8% по объему. Пористую структуру имеют кирпич, блоки, черепица, дренажные трубы и др.; плотную – плитки для полов, канализационные трубы, санитарно-технические изделия.

К числу новых по структуре керамических материалов следует отнести волокнистые керамические материалы, получаемые спеканием, например, аморфного кварцевого волокна. Керамику с плотной структурой используют в качестве вакуумной, пористую и волокнистую

– как термоизоляционный материал и материал для высокотемпературных жидкостных и газовых фильтров.

По назначению керамику делят на конструкционную, инструментальную, техническую и бытовую.

Конструкционная керамика производится как строительная и машиностроительная.

Конструкционную керамику используют как долговечный материал, стойкий против износа, нагрева и агрессивных сред.

#### **По вопросу 4**

Теплоизоляционные, огнеупорные, кислотоупорные и другие изделия.

Для высокотемпературной теплоизоляции различных промышленных печей и тепловых агрегатов используют волокнистые керамические материалы – алюмосиликатные волокна, обладающие высокой прочностью, термической стойкостью и малой теплопроводностью.

Волокнистые керамические материалы способны по сравнению с кремнеземными (близкими по свойствам) материалами длительно выдерживать температуры 1650–1700 °С, не боятся примесей и обладают в 2–2,5 раза более высокой прочностью. Основными недостатками, сдерживающими применение волокнистых материалов, являются низкие прочность и коррозионная стойкость и заметное пылевыведение, что требует использования специальных объемных и поверхностных покрытий (высокотемпературные коррозионно-стойкие терморегулирующие покрытия).

Керамические огнеупорные изделия получают отливкой из расплава или обжигом минеральной смеси. Большинство керамических огнеупорных изделий (огнеупоров) – это керамика на основе SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, ZrO, а так же на основе SiO, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> и других бескислородных соединений. Возможные температуры эксплуатации оксидов, карбидов, боридов и нитридов 1600–2500 °С, жаропрочных сталей и сплавов – 800–120 °С, молибдена – 1500 °С, вольфрама – 1800 °С. Наибольшее распространение в строительстве и промышленности строительных материалов получили кремнеземистые и алюмосиликатные огнеупорные изделия.

Керамические огнеупорные изделия классифицируют по огнеупорности, пористости, химико-минеральному составу и способу изготовления.

По огнеупорности керамические огнеупорные изделия могут быть огнеупорными (1580–1770 °С), высокоогнеупорными (1700–2000 °С) и высшей огнеупорности (более 2000 °С). В зависимости от пористости керамические огнеупорные изделия подразделяются на особо плотные огнеупоры–пористость менее 3%, высокоплотные огнеупоры–пористость 3–10%, плотные огнеупоры–пористость 0–20%, обычные огнеупоры–пористость 20–30%, легковесные огнеупоры (теплоизоляционные) – пористость 45–85%.

Керамические огнеупорные изделия применяют для строительства промышленных печей, топок и аппаратов, работающих при высокой температуре.

### По вопросу 5

К химически стойкой керамике относится глиношамотная керамика с грубозернистой структурой, а также фарфор. Керамические кислотоупорные изделия должны обладать кислотостойкостью, которая характеризует их нерастворимость в кислотах (за исключением плавиковой кислоты) и щелочах. Такие изделия изготавливают из глин, не содержащих примесей, понижающих химическую стойкость (карбонаты, гипс, серный колчедан и т.п.).

К керамическим кислотоупорным изделиям относят:

- кислотоупорный кирпич марок 150–250 кислотостойкостью не менее 92–96%, водопоглощением не более 8–12%, термостойкостью не менее двух теплосмен;
- плитки кислотоупорные и термокислотоупорные марки 300 кислотостойкостью 96–98%, водопоглощением не более 6–9%, термостойкостью не менее 2–8 теплосмен;
- трубы и фасонные части к ним марок 300–400 кислотостойкостью не ниже 97–98%, водопоглощением не более 3–5%. Кислотоупорный кирпич и плитки служат для футеровки башен и резервуаров на химических предприятиях.
- Дорожный (клинкерный) кирпич. Дорожный кирпич вырабатывают из тугоплавких глин, обжигая их до спекания. Дорожный кирпич имеет марки 400, 600 и 1000. Его водопоглощение должно быть 2–6%, морозостойкость–50–100 циклов попеременного замораживания и оттаивания.
- Керамзит. Заполнители для легких бетонов

### По вопросу 6

Керамика специального назначения. Из машиностроительной керамики изготавливают поршни и головки блоков цилиндров ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ), свечи зажигания ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), лопасти газовых турбин, вакуумстойкий смазочный материал и др.

Как инструментальный материал используется корундовая и сверхтвердая керамика.

Корунд известен в технике природными и синтетическими разновидностями. Природные разновидности корунда – рубин, сапфир, топаз, аквамарин, синтетические – корундовая керамика, среди изделий которой – микролит и электрокорунд.

Изделия–микролит (марка ЦМ-332) – получают спеканием при 1710–1750 °С смеси тонкомолотого технического глинозема и оксида магния. Микролит по свойствам превосходит другие инструментальные материалы. Резцы с пластинками из микролита используют для обработки сталей, чугунов, цветных металлов, неметаллов

Электрокорунд (корракс) – корундовая керамика из спеченного оксида алюминия с добавками  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ , получаемая плавкой в электрических печах глиноземсодержащего сырья, имеющего не более 2% примесей. Электрокорунд по твердости уступает лишь алмазу и имеет температуры плавления 1750–2050 °С..

Пьезокерамику применяют для устройств генерации и приема ультразвука; датчиков давления, ускорения, вибрации, в системах зажигания двигателей, в трансформаторах и др.

В качестве радиотехнической высокочастотной керамики используется радиофарфор, муллит, корундомуллитовая керамика (муллит и корунд  $Al_2O_3$ ), ультрафарфор. Абразивные керамические материалы (абразивы) – вещества повышенной твердости, применяемые в массивном или измельченном состоянии для механической обработки (шлифования, резания, истирания, заточки, полирования и т.д.) других материалов. В настоящее время разрабатываются новые абразивные материалы на основе боридов и карбидов переходных металлов, а также типа белбора.

**Контрольные вопросы:**

1. Керамика
2. Свойства керамики
3. Классификация керамики по структуре и назначению, технология производства изделий
4. Теплоизоляционные, огнеупорные изделия
5. Химически стойкая и кислотоупорная керамика
6. Керамика специального назначения

**Практическое занятие 6**

**Тема 6.** Стекло, виды стекол, применение.

**1. Цель практического занятия:** изучить закономерности формирования стекла.

**2. План проведения занятий с указанием последовательности тем:**

1. Стекло, виды стекол
2. Элементарные стекла.
3. Класс оксидных стекол.
4. Силикатные стекла. Боратные и фосфатные стекла
5. Функциональные материалы для стекла.

**3. Используемые технологии преподавания:**

Практические занятия проводятся в виде семинара, на котором студенты рассматривают теоретический материал и отвечают на вопросы, поставленные преподавателем. Далее идет обсуждение вопросов темы.

**4. Вопросы, выносимые на обсуждение (теоретический материал).**

**По вопросу 1**

Неорганическое стекло - особого вида затвердевший аморфный раствор - сложный расплав высокой вязкости кислотных и основных оксидов. В его состав входят стеклообразующие оксиды (стекломассы) Si, B, P, Ge, As, образующие структурную сетку и модифицированные оксиды Na, K, Li, Ca, Mg, Ba, изменяющие физико-химические свойства стекло-

массы. Для сообщения стеклу нужных технических характеристик в состав стекла вводят оксиды Al, Fe, Pb, Ti, Be и другие.

Механические свойства стёкол характеризуются высоким сопротивлением сжатию (500-2000 МПа), но низким при растяжении (30-90 МПа) и изгибе. Твёрдость стекла равна 5-7 единиц (10 единиц у алмаза).

Важнейшие специфические свойства стёкол - их оптические свойства: прозрачность, отражение, рассеяние, поглощение и преломление света. Обычное неокрашенное стекло пропускает до 90%, отражает ~ 8% и поглощает ~ 1% видимого и частично инфракрасного света; ультрафиолет поглощает почти полностью. Кварцевое стекло прозрачно для ультрафиолета. Стекло с PbO поглощает рентгеновское излучение.

Силикатные триплексы – два листа закалённого стекла (толщиной 2...3мм), склеенные прозрачной эластичной полимерной плёнкой. При его разрушении образуются неострые осколки, которые удерживаются на полимерной плёнке.

Широкая употребительность стекла обусловлена неповторимым и своеобразным сочетанием физических и химических свойств, не свойственным никакому другому материалу.

## **По вопросу 2**

Неорганические стекла подразделяются на несколько типов: элементарные, оксидные, галогенидные, халькогенидные и смешанные.

**Элементарными** называются стекла, состоящие из атомов одного элемента. В стеклоподобном состоянии можно получить золото, серу, селен, мышьяк, фосфор. Имеются сведения о возможности остекловывания теллура и кислорода. Путем длительного пиролиза органических смол может быть получен стеклообразный углерод. Однако стеклообразный углерод причисляется к элементарным стеклам лишь условно, т.к. в нем всегда содержится кислород, который играет существенную роль в процессе стеклообразования.

## **По вопросу 3**

Оксидные стекла. Все разнообразные составы стекол разделяются на определенные классы и группы. При определении класса учитывается природа стеклообразующего оксида, входящего в состав стекла в качестве главного компонента. Типичными стеклообразователями являются  $B_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $GeO_2$ ,  $P_2O_5$ . Таким образом, различают классы силикатных, боратных, фосфатных, германатных, теллуридных, алюминатных и др. стекол. Каждый из классов разделяется на группы в зависимости от природы *сопутствующих* оксидов типа  $MeO_2$ ,  $Me_2O_3$ ,  $Me_2O_5$ ,  $MeO_3$ , входящих в состав стекла (Me – не только металлы, но и неметаллы, играющие роль электроположительных элементов). Большое распространение имеют стекла, содержащие одновременно два или три стеклообразователя.

К классу оксидных стекол принадлежат: силикатные, боратные, фосфатные, герма-

натные, теллуритные, селенитовые, алюмосиликатные, галлатные, арсенитные, антимонитные, висмутитные, титанатные, ванадатные, молибдатные, вольфрамовые стекла.

#### По вопросу 4

Главнейшее значение в практике имеет класс *силикатных* стекол. С силикатными стеклами не могут сравниться по распространенности никакие другие классы стекол. Они дешевы, доступны, химически устойчивы, тверды и сравнительно просто получают. Кварцевый песок почти со всеми оксидами может образовывать стеклообразные состояния. Второй компонент возможно вводить от 50 до 100 частей при содержании кварцевого песка 100 частей.

*Боратное стекло.* Свободный  $B_2O_3$  не находит применения в технике, так как гигроскопичен. Боратные стекла имеют ряд уникальных свойств: способность эффективно поглощать медленные нейтроны, высокие рентгенопрозрачность и электроизоляционные свойства. Применяют для стеклоприпоев и стеклоцементов при спаивании деталей из стекла, керамики, металлов и друг с другом (боратные стекла легкоплавки); а также как оптические стекла.

*Фосфатные стекла.* В основных двухкомпонентных системах фосфатные стекла имеют стеклообразное состояние, кроме систем  $P_2O_5 - SiO_2$  и  $P_2O_5 - B_2O_3$ . Так как оксид фосфора – очень летучий компонент, то на практике применяют трех-, четырех- и пятикомпонентные сложные фосфатные стекла. Особенно полезным компонентом фосфатных стекол считается оксид алюминия, резко улучшающая их физико-химические свойства. Цветные фосфатные стекла характеризуются большей чистотой окраски, чем силикатные. Из них получают светофильтры, оптические стекла. Фосфатные стекла могут быть как легкоплавкие, так и тугоплавкие.

#### По вопросу 5

Для получения особых свойств стекол применяют различные функциональные материалы, которые представлены в табл. 1.

**Таблица 1**

Функциональные материалы для производства стекла

Компонент	Функция	Пример
Краситель	Окраска	$MnO_2$ – фиолетовый; $CoO$ – синий; Au - красный
Глушитель	Приобретение способности рассеивать свет	$CaF_2$ , $Na_2SiF_6$ и др. соединения фтора

Осветлитель	Освобождение стекломассы от газовых включений, снижение вязкости расплава	$\text{NH}_4\text{NO}_3$ , $\text{NH}_4\text{Cl}$ , $\text{CaF}_2$ , $\text{NaCl}$ и др.
Обесцвечиватель	Освобождение стекломассы от желто-зеленой окраски	$\text{CoO}$ , $\text{NiO}$ , $\text{NH}_4\text{NO}_3$ и др.
Ускоритель	Ускорение стекловарения	Фтористые соединения аммония, оксид бора

### Контрольные вопросы

1. Стекло, виды стекол
2. Элементарные стекла.
3. Класс оксидных стекол.
4. Силикатные стекла. Боратные и фосфатные стекла
5. Функциональные материалы для стекла.

### Практическое занятие 7

#### Тема 7. Композиционные материалы

**1. Цель практического занятия:** изучить закономерности формирования композиционных материалов

**2. План проведения занятий с указанием последовательности тем:**

- 1 Понятие о композитных материалах
2. Общие сведения о композиционных материалах
3. Матрица композиционных материалов: металлы, полимеры, стекло, керамика
4. Металлическая матрица
5. Волокнистый наполнитель композиционных материалов

**3. Используемые технологии преподавания:**

Практические занятия проводятся в виде семинара, на котором студенты рассматривают теоретический материал и отвечают на вопросы, поставленные преподавателем. Далее идет обсуждение вопросов темы.

**4. Вопросы, выносимые на обсуждение (теоретический материал).**

#### По вопросу 1

Композиционными называют однородные в макрообъеме материалы, получаемые путем искусственного объединения микроскопических объемов разнородных веществ.

Макрообъем конструкционных материалов (КМ) определяется габаритными размерами изготовленной из него детали и может достигать значительных величин. Например, размеры некоторых деталей химической аппаратуры из КМ, получаемых путем намотки волокнистого наполнителя со связующим, достигают 10 м и более. Дискретные элементы структуры КМ, представленные химически или физически разнородными веществами, в большинстве случаев имеют размеры до 10 мкм, а в некоторых материалах не более сотен микрометров.

## По вопросу 2

Композиционные материалы состоят из непрерывной матрицы, в которой равномерно распределены дискретные или непрерывные микрообъемы наполнителя зернистой или волокнистой формы. Матрица связывает отдельные элементы наполнителя в единый монолит. Механическая нагрузка, приложенная к КМ, воспринимается матрицей и через поверхности раздела фаз передается на элементы наполнителя. В качестве наполнителя обычно используют более прочное вещество, а матрицей должно быть более пластичное вещество. Классификация композиционных материалов по виду наполнителя: а – с зернистым наполнителем; б – с дискретным волокнистым наполнителем; в – с непрерывным волокнистым наполнителем

Упрочняющее действие наполнителя определяется его геометрической формой, а также размерами и ориентацией дискретных элементов структуры наполнителя в КМ. По геометрической форме используемого наполнителя КМ подразделяют на два класса:

- с зернистым наполнителем. Наполнитель называют зернистым при условии  $l_3/d \approx 1$ .
- с волокнистым наполнителем. Для волокнистого наполнителя выполняется условие  $l_i/d \gg 1$  (где  $l_i$  – длина волокна,  $d$  – диаметр волокна).

Механизм упрочняющего действия зернистого наполнителя зависит от размера его зерен, исходя из которого различают КМ:

- дисперсно-упрочненные (упрочнение такого типа проявляется при размере зерен  $d < 0,1$  мкм);
- порошковые (наполнитель с размером зерен  $d > 1$  мкм).

В зависимости от механизма армирующего действия волокнистого наполнителя различают КМ:

- с дискретным волокном (отношение размерных параметров волокна  $l_i/d$  в этих композитах находится в пределах 10–103);
- с непрерывным волокном, удовлетворяющим условию  $l_i/d \gg \infty$ .

Пространственная ориентация волокнистого наполнителя, не влияя на механизм контактного взаимодействия матрицы с волокном, оказывает влияние на условия передачи напряжения в объеме детали из КМ. Рациональная ориентация волокон позволяет оптимально

использовать преимущества КМ при конструировании деталей машин, усиливая материал в наиболее нагруженных направлениях детали.

### **По вопросу 3**

Основное назначение матрицы в КМ состоит в связывании дисперсных частиц или более крупных зерен, дискретных или непрерывных волокон наполнителя в сплошное твердое тело, а также в восприятии и равномерном перераспределении внешней нагрузки на элементы наполнителя. Для выполнения указанных функций матричный материал должен быть пластичным и обладать достаточно высокой прочностью контактного взаимодействия с поверхностью наполнителя.

В качестве матрицы КМ используется ряд материалов, имеющих и самостоятельное применение, в том числе конструкционное

Большинство металлов и полимеров вполне удовлетворяют основным требованиям, предъявляемым к матричному материалу, и получили широкое применение для создания КМ на их основе. Стекло и керамика относятся к хрупким материалам, однако они также находят применение при разработке КМ специального назначения.

Стекло наиболее широко используется в качестве матричного материала при создании дисперсно-упрочненных КМ на его основе – ситаллов. За рубежом дисперсно-упрочненное стекло получило название пирокерам. Комбинируя состав и долевое соотношение стеклянной матрицы и дисперсных частиц наполнителя получают КМ с самыми разными, в том числе резко противоположными, свойствами.

Керамика имеет самостоятельное применение в качестве высокотемпературного материала. Существенный недостаток керамики заключается в низком сопротивлении механическим и тепловым ударам. Главная цель введения наполнителя в керамическую матрицу состоит в повышении термопрочности и ударной вязкости получаемого композита. Поэтому для армирования керамики используют преимущественно волокнистый наполнитель.

### **По вопросу 4**

Создание КМ на металлической матрице преследует цель устранить такие основные недостатки металлов, препятствующие их эффективному применению в качестве конструкционного материала, как большая плотность, низкая рабочая температура эксплуатации и низкая вязкость разрушения.

В качестве матрицы КМ наиболее широкое применение получили легкие и жаропрочные металлы и сплавы. Легкие металлы и сплавы позволяют получать максимальное значение удельной прочности КМ на их основе, особенно в сочетании с низкоплотными волокнами. Это обеспечивает максимальное уменьшение материалоемкости деталей машин, что приобретает особую важность применительно к транспортным средствам.

Их легких металлов алюминий получил наиболее широкое применение, что обусловлено наряду с ценным комплексом свойств его большими природными ресурсами и соответственно большим объемом производства. К достоинствам алюминия относятся низкая плотность (2,7 г/см<sup>3</sup>) и высокая коррозионная стойкость при нормальных и повышенных температурах. Низкая температура плавления и высокая пластичность облегчают технологические процессы его переработки. Недостатком алюминия является его низкая прочность ( $\sigma_{\text{в}} \sim 60$  МПа). Поэтому при использовании в качестве матрицы КМ алюминий применяют преимущественно в виде сплавов с другими элементами.

Деформируемые сплавы алюминия, легированные магнием и марганцем, не подвергаются термической обработке. Это позволяет сократить время высокотемпературного контакта сплава с наполнителем в процессе изготовления КМ, т.е. уменьшить их химическое и диффузионное взаимодействие. Недостатком этой группы сплавов является их относительно низкая прочность ( $\sigma_{\text{в}}$  не более 200 МПа). Дюралюминий, основными легирующими элементами которого являются медь и магний, подвергается термической обработке. После закалки и старения прочность дюралюминия достигает  $\sigma_{\text{в}} = 450$  МПа.

В качестве литейных сплавов широко применяются сплавы алюминия с кремнием – силумины. По механическим свойствам они уступают деформируемым сплавам, кроме того, трудно предотвратимое химическое взаимодействие алюминия с наполнителем при литье приводит к разупрочнению армирующего волокна.

Рабочая температура алюминиевых сплавов не превышает 300 °С, однако армирование их углеродными волокнами позволяет применять получаемый КМ при температурах до 450 °С.

Для создания жаропрочных КМ представляет интерес спеченный алюминиевый порошок (САП), который сам является КМ, упрочненным дисперсными частицами диоксида алюминия, на алюминиевой матрице и обладает высокой жаропрочностью при длительном нагреве до 500 °С.

Минимальная среди металлов и сплавов конструкционного назначения плотность сплавов магния (около 1,8 г/см<sup>3</sup>) является существенным достоинством для их использования в качестве матрицы при создании КМ с высокой удельной прочностью. Следует, однако, отметить, что работы по армированию магния и его сплавов сопряжены со значительными технологическими трудностями вследствие их плохой деформируемости и наличия рыхлой оксидной пленки на магниевых поверхностях.

Титановые сплавы обладают максимальной удельной прочностью по сравнению со сплавами на основе других металлов. Получили развитие работы по армированию титана и

его сплавов волокнами тугоплавких соединений. Однако широкому использованию титановой матрицы препятствуют технологические трудности введения наполнителя в матрицу.

Жаропрочные сплавы используют для изготовления ответственных деталей, работающих под нагрузкой при рабочих температурах выше 700 °С. Наибольшее развитие получили жаропрочные сплавы на основе никеля. Путем сложного легирования никелевых жаропрочных сплавов удается повысить их рабочие температуры до 1100 °С. Армирование их углеродным волокном позволяет повысить жаропрочность материала еще на 150–200 °С.

Пластичность жаропрочных сплавов вполне достаточна для передачи нагрузки на армирующую матрицу волокна, но недостаточна для проведения процессов совместной пластической деформации с волокном. Поэтому КМ на их основе изготавливают преимущественно жидкофазными методами, т.е. процессами литья, пропитки и др.

Наряду с легкими и жаропрочными металлами и сплавами для создания КМ используют металлы и другого назначения.

### По вопросу 5

Естественные наполнители. Наибольшее применение в технологии КМ находят две разновидности волокнистых наполнителей естественного происхождения – асбест и волластонит.

Таблица 1 Свойства композитов с искусственными волокнами

Материал наполнителя	Диаметр волокна, мкм	$\sigma_b$ , ГПа	E, ГПа	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>
Сталь	150	3,5	200	7,9
Стекло	10	4,0	85	2,5
Кевлар	15	4,5	150	1,4
Углерод: высокопрочный высокомодульный	7	5,5	300	1,8
	7	3,0	650	2,0
Карборунд	120	3,0	430	3,2
Бор	100	3,5	400	2,6
Нитевидные кристаллы: корунда карборунда	–	30	1000	3,8
	–	40	800	3,2

Асбест – название группы силикатных минералов, обладающих волокнистым строением (диаметром до 40 нм.) Предел прочности при растяжении асбеста 3000 МПа в 5 раз превышает прочность стали 45

Волластонит (химическая формула  $\text{CaSiO}_3$ ) – природный минерал, состоит из кристаллов игольчатой формы, имеющих белый цвет..

Искусственные наполнители. Усредненные характеристики искусственных наполнителей физико-механических свойств представлены в табл.1

### **Контрольные вопросы**

- 1 Понятие о композитных материалах
2. Общие сведения о композиционных материалах
3. Матрица композиционных материалов: металлы, полимеры, стекло, керамика
4. Металлическая матрица
5. Волокнистый наполнитель композиционных материалов

## **Практическое занятие 8**

### **Тема 8. Огнеупоры**

**1. Цель практического занятия:** изучить закономерности формирования огнеупоров

**2. План проведения занятий с указанием последовательности тем:**

1. Понятие огнеупоров. Их назначение.
2. Классификация огнеупоров.
3. Классификация огнеупорных изделий.
4. Стадии получения огнеупоров.
5. Виды и свойства кремнеземистых огнеупоров.
6. Алюмосиликатные огнеупоры
7. Виды полукислых огнеупорных материалов.
8. Шамотные огнеупоры.
9. Цирконистые материалы.

**3. Используемые технологии преподавания:**

Практические занятия проводятся в виде семинара, на котором студенты рассматривают теоретический материал и отвечают на вопросы, поставленные преподавателем. Далее идет обсуждение вопросов темы.

**4. Вопросы, выносимые на обсуждение (теоретический материал).**

### **По вопросу 1**

Огнеупорными (огнеупорами) называют изделия и неформованные материалы, применяемые для футеровки печей и других тепловых агрегатов. Они должны обладать ком-

плексом свойств, характеризующих их пригодность для службы при высоких температурах: огнеупорностью (не ниже 1580°C), высокой температурой начала деформации при нагружении, постоянством объема, термической и химической стойкостью, теплоизоляционной способностью и др.

## **По вопросу 2**

Классификация огнеупоров: на формованные изделия, имеющие определенную геометрическую форму и размеры, и на неформованные материалы без определенной формы в виде порошков или масс, готовых к применению. Неформованные материалы, исходя из формальных позиций, к керамическим изделиям не относятся.

Огнеупоры классифицируют также по *следующим показателям*:

- огнеупорности: на изделия средней (от 1580 до 1770°C), высокой (от 1770 до 2000°C) и высшей (более 2000°C) огнеупорности;

- форме и размерам: на нормальный кирпич «прямой» и «клиновой»; на фасонные изделия - простые, сложные, особо сложные и крупноблочные, сюда же включают монолитные огнеупорные бетоны;

- способу изготовления: на изделия, полученные пластичным формованием, полусухим прессованием или трамбованием, литьем из шликера, горячим литьем из парафинированных масс, гидростатическим прессованием, литьем из расплава, выпиливанием из горных пород или из плавящихся блоков;

## **По вопросу 3**

Классификация огнеупорных изделий

### I. По химико-минеральному составу

1. Кремнеземистые: кварцевые динасовые, динасовые с добавками, кварцевые (бетонные и безобжиговые).

2. Алюмосиликатные: полукислые, шамотные, муллитокремнеземистые, муллитовые, муллитокорундовые, из глиноземно-кремнеземистого стекла (волокнистые).

3. Глиноземистые: корундовые.

4. Глиноземисто-известковые: алюминаткальциевые.

5. Магнезиальные: периклазовые.

6. Магнезиально-известковые: периклазоизвестковые, периклазоизвестковые стабилизированные, известково-периклазовые (доломитовые).

7. Известковые: известковые.

8. Магнезиально-силикатные: периклазофорстеритовые, форстеритовые, форстеритохромитовые.

9. Магнезиально-шпинелидные: периклазохромитовые, хромитопериклазовые, хроми-

товые, периклазошпинелидные, периклазошпинельные, шпинельные

10. Хромистые: хромоксидные.

11. Цирконистые: бадделеитовые, бадделеитокорундовые, циркононовые.

12. Оксидные: Специальные из огнеупорных оксидов BeO, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZrO<sub>2</sub>, ThO<sub>2</sub>, Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и др.

13. Углеродистые: графитированные, угольные, углеродосодержащие.

14. Карбидокремневые: карбидокремневые, карбидокремнийсодержащие.

15. Бескислородные: из нитридов, карбидов, боридов, силицидов и др. бескислородных соединений, кроме углеродистых.

II. По характеру термической обработки: на безобжиговые, обожженные, горячепрессованные и отлитые из расплава;

III. По величине пористости: на особо плотные спекшиеся (с пористостью менее 3%); высокоплотные (3-10%); плотные (10-20%); среднеплотные (20-30%); низкоплотные (30-40%); высокопористые (45-75%); ультрапористые (более 75%).

#### **По вопросу 4**

Огнеупоры, как правило, изготавливают из природного сырья, значительно реже - из специально синтезированных материалов.

*Формованные изделия*, в отличие от других видов керамики, имеют зернистое строение, придаваемое им для обеспечения малой усадки, что позволяет сохранить форму и размеры, а также значительно повысить термическую стойкость изделий. Поэтому практически все огнеупоры состоят из крупнозернистого (до 3-4 мм) инертного заполнителя и высокодисперсной связки, как правило, из того же материала, обеспечивающей упрочнение изделий в обжиге.

Для получения *заполнителя* методом пластического или полусухого прессования изготавливают брикеты или используют раздробленные до определенного размера куски природного материала.

*Назначение предварительного обжига* - получение достаточно плотного материала, не имеющего при обжиге изделий, в которые вводятся этот заполнитель, значительной усадки, и получение определенного фазового состава заполнителя.

*Большинство видов огнеупоров формуют полусухим прессованием.* При подготовке массы необходимо равномерно распределить заполнитель, дисперсную составляющую и клеящую добавку, обеспечить заданную влажность.

*Прессование изделий осуществляют* на мощных механических или гидравлических прессах при достаточно высоких удельных давлениях

*Обжиг изделий приводят* в туннельных, реже, если требуется специальный режим, в

печах периодического действия. Назначение обжига - придание изделиям определенной структуры, фазового состава и свойств.

#### **По вопросу 5.**

Кремнеземистые огнеупоры

*Динасовые огнеупоры.* Динасом называют огнеупор, содержащий не менее 93%  $\text{SiO}_2$ , изготавливаемый из кварцевых пород с известково-железистым или иным минерализатором. При достаточно быстром нагревании выше  $1600^\circ\text{C}$  кварц плавится, минуя переход в другие модификации. При быстром нагревании выше  $1670^\circ\text{C}$   $\alpha$ -тридимит может быть превращен в вязкий расплав (кварцевое стекло).  $\beta$ -тридимит является лишь промежуточной модификацией, быстро переходящей (при  $72^\circ\text{C}$ ) в  $\gamma$ -тридимит.

Высокоплотный динас предназначен для печей черной и цветной металлургии, в которых он служит в 1,5-2 раза дольше обычного динаса, а также для стекловаренных и коксовых печей.

В целях придания некоторых специальных свойств производят также такие разновидности динаса, как динасокарборунд, динасохромит, динасовый легковес.

#### **По вопросу 6**

*Алюмосиликатные огнеупоры* - полукислые, шамотные и высокоглиноземистые - характеризуются последовательным изменением соотношения оксидов  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{SiO}_2$ . Все остальные оксиды, количество и состав которых зависят от чистоты исходного сырья, являются примесями. Содержание  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в алюмосиликатных изделиях изменяется от 18-28%, в полукислых до 99-100% в высокоглиноземистых и корундовых огнеупорах. Изменению химического состава алюмосиликатных изделий соответствует изменение их фазового состава и всех свойств изделий.

#### **По вопросу 7**

Полукислые изделия в зависимости от вида используемого сырья бывают кварцевоглинистыми или кварцевокаолиновыми; они имеют огнеупорность соответственно не ниже  $1610$  и  $1710^\circ\text{C}$ . Их изготавливают из природных глин и каолинов, содержащих свободный кварц в количестве до 50%.

Полукислые огнеупоры используют для кладки участков коксовых печей, работающих при пониженных температурах, для футеровки сталеразливочных ковшей. Равномерное растворение в стекломассе плотного и богатого содержанием  $\text{SiO}_2$  полукислого огнеупора уменьшает свилеватость стекла. Это позволяет использовать полукислый огнеупор в стекловаренных печах при температурах ниже температуры его размягчения.

#### **По вопросу 8**

*Шамотными* называют изделия, изготавливаемые из огнеупорных глин и каолинов с отоще-

нием их шамотом или непластичной не размокающей в воде глинистой породой. Шамотом называют обожженную глину.

Сырьем для производства шамотных изделий служат глинистые материалы, содержащие не менее 28%  $Al_2O_3$  и имеющие огнеупорность не ниже 1580°C. Максимальное содержание  $Al_2O_3$  в шамотных изделиях может достигать 45% при использовании чистых каолинов.

*Технологический процесс производства.* Карьерную глину с влажностью примерно 20% перед измельчением высушивают до влажности 8-11 %. Для более эффективной работы сушильного аппарата глину предварительно дробят на мелкие куски при помощи глино-резательной машины (стругача).

Глину сушат в сушильных барабанах до 600-800°C без опасения перегрева глины до ее частичной дегидратации.

Помол глины в дезинтеграторе при нормальной ее влажности позволяет получить до 80% частиц менее 0,5 мм.

Наиболее эффективным агрегатом для обжига глины на шамот является вращающаяся печь. Качество шамота зависит от свойств глины и способа ее подготовки, плотности брикета, температуры обжига.

### **По вопросу 9.**

Цирконистые огнеупоры. К этой группе материалов относят бадделеитовые ( $ZrO_2$  более 90%), бадделеито-корундовые ( $20\% < ZrO_2 < 90\%$ ) и цирконовые ( $ZrO_2 > 50\%$ ,  $SiO_2 > 25\%$ ).

Для изготовления огнеупоров применяют стабилизированный диоксид циркония, содержащий (молярные, %) 12 CaO, либо 10  $Y_2O_3$ , либо 15 MgO, а также комбинацию этих оксидов. Для стабилизации диоксида циркония исходный порошок  $ZrO_2$  смешивают со стабилизирующей добавкой, прессуют брикеты, обжигают их при 1750°C. В качестве дисперсной связки применяют тонкомолотый стабилизированный диоксид циркония, который вводят в шихту в количестве 15-25%. Изделия прессуют при давлении 100 МПа и обжигают при 1750°C.

Изделия из диоксида циркония зернистого строения применяют в сталеплавильном производстве для разливочных и стопорных систем в качестве вставок-дозаторов и скользящих затворов, для футеровки стекловаренных и других печей, в виде тиглей для плавки металлов и огнеприпаса для обжига некоторых изделий технической керамики.

Цирконовые огнеупоры применяют в условиях воздействия расплавленных хлоридов, кислых шлаков и расплавов золы углей. Из циркона изготавливают вставки-дозаторы, стаканы и втулки для установок непрерывной разливки стали. Циркон применяют также в шихте бадделеитокорундовых плавленолитых огнеупоров «Бакор»

### **Контрольные вопросы:**

1. Понятие огнеупоров. Их назначение.
2. Классификация огнеупоров.
3. Классификация огнеупорных изделий.
4. Стадии получения огнеупоров.
5. Виды и свойства кремнеземистых огнеупоров.
6. Алюмосиликатные огнеупоры
7. Виды полукислых огнеупорных материалов.
8. Шамотные огнеупоры.
9. Цирконистые материалы.

## **Практическое занятие 9**

### **Тема 9. Аморфные материалы и сплавы**

**1. Цель практического занятия:** изучить закономерности формирования аморфных материалов и сплавов

**2. План проведения занятий с указанием последовательности тем:**

- 1 Аморфные металлические сплавы
- 2 Методы получения аморфных сплавов
3. Механические свойства
4. Физические свойства
5. Применение аморфных сплавов

**3. Используемые технологии преподавания:**

Практические занятия проводятся в виде семинара, на котором студенты рассматривают теоретический материал и отвечают на вопросы, поставленные преподавателем. Далее идет обсуждение вопросов темы.

**4. Вопросы, выносимые на обсуждение (теоретический материал).**

### **По вопросу 1**

Аморфные металлические сплавы (металлические стёкла) -это металлические твёрдые вещества, в которых отсутствует дальний порядок в расположении атомов. Это придаёт им целый ряд существенных отличий от обычных кристаллических металлов. Аморфные сплавы были впервые получены в 1960 г. П. Дувезом, однако их широкие исследования и промышленное использование начались спустя десятилетие после того, как в 1968 г. был изобретён

метод спиннингования. В настоящее время известно несколько сотен аморфизирующихся систем сплавов, достаточно подробно изучены структура и свойства металлических стёкол, расширяется область их применения в промышленности.

## **По вопросу 2**

Методы получения аморфных сплавов. Сверхвысокие скорости охлаждения жидкого металла для получения аморфной структуры можно реализовать различными способами. Общим в них является необходимость обеспечения скорости охлаждения не ниже 10<sup>6</sup> град/с. Известны методы катапультирования капли на холодную пластину, распыление струи газом или жидкостью, центрифугирование капли или струи, расплавление тонкой пленки поверхности металла лазером с быстрым отводом тепла массой основного металла, сверхбыстрое охлаждение из газовой среды и др. Использование этих методов позволяет получать ленту различной ширины и толщины, проволоку и порошки.

Наиболее эффективными способами промышленного производства аморфной ленты являются охлаждение струи жидкого металла на внешней (закалка на диске) или внутренней (центробежная закалка) поверхностях вращающихся барабанов или прокатку расплава между холодными валками, изготовленными из материалов с высокой теплопроводностью. Для получения тонкой аморфной проволоки используют разные методы вытягивания волокон из расплава.: а) протягивание расплава через охлаждающую жидкость (экструзия расплава); б) вытягивание нити из вращающегося барабана; в) вытягивание расплава в стеклянном капилляре.

## **По вопросу 3**

Механические свойства Первая особенность механических свойств аморфных сплавов - их очень высокая прочность. Прочность реальных металлов на два-три порядка ниже теоретической, лишь прочность нитевидных кристаллов (усов) приближается к теоретической. Неожиданным свойством аморфных сплавов является их способность к пластическому течению. В кристаллах, как известно, пластическое поведение обеспечивается движением дислокаций. Но в теле без трансляционной симметрии дислокации в классическом понимании невозможны, и следовало бы ожидать, что аморфные вещества будут абсолютно хрупкими. Неорганические стёкла ведут себя именно так, однако в аморфных металлах пластическая деформация всё-таки происходит.

Пластическая деформация аморфных сплавов может быть гомогенной, когда деформируется каждый элемент объёма и образец испытывает однородную деформацию, и негомогенной, когда пластическое течение локализуется в тонких полосах сдвига. Степень пластической деформации при гомогенном течении практически неограничена, и при правильно подоб-

ранных условиях можно добиться эффекта сверхпластичности с деформацией в сотни процентов.

Разрушение аморфных сплавов, как и обычных кристаллических, может быть хрупким и вязким.

#### **По вопросу 4**

Физические свойства *Магнитных свойствах аморфных сплавов*. В аморфном состоянии, несмотря на неупорядоченное расположение атомов, может возникать упорядоченное расположение магнитных моментов. Поэтому многие аморфные сплавы на основе железа, кобальта, никеля, а также некоторых редкоземельных металлов ферромагнитны. В аморфных сплавах отсутствуют такие барьеры для движения доменных стенок при перемагничивании, как дислокации или границы зёрен, однако в роли барьеров могут выступать локальные неоднородности, магнитострикция от внутренних напряжений и т.п. Отжиг ниже температуры кристаллизации, приводящий к релаксации аморфной структуры и уменьшению внутренних напряжений, обычно уменьшает коэрцитивную силу.

*Электрическое сопротивление аморфных сплавов* существенно выше, чем кристаллических, из-за отсутствия дальнего порядка. Кроме того, их электросопротивление слабо меняется с температурой. Существуют и аморфные сверхпроводники.

#### **По вопросу 5**

Применение аморфных сплавов

- Порядка 80 % промышленных аморфных сплавов производится ради их магнитных свойств. Они применяются в качестве магнитомягких материалов, сочетающих изотропность свойств, высокую магнитную проницаемость, высокую индукцию насыщения, малую коэрцитивную силу. Их применяют для изготовления магнитных экранов, магнитных фильтров и сепараторов, датчиков, записывающих головок и т.п. Сердечники трансформаторов, изготовленные из аморфных сплавов, характеризуются весьма малыми потерями на перемагничивание благодаря узкой петле гистерезиса, а также высокому электросопротивлению и малой толщине, что уменьшает потери, связанные с вихревыми токами.
- Хотя аморфные материалы химически более активны, чем кристаллические, но при наличии в них хрома и других элементов, способствующих формированию пассивирующей плёнки, они могут обладать исключительно высокой коррозионной стойкостью и использоваться в агрессивных средах; например, сплав Fe<sub>45</sub>Cr<sub>25</sub>Mo<sub>10</sub>P<sub>13</sub>C<sub>7</sub> по стойкости превосходит даже тантал.
- Аморфные сплавы применяются и как высокопрочные (например, в качестве компонента композиционных материалов и даже корда автомобильных шин).

- Некоторые аморфные сплавы проявляют инварные и элинварные свойства (то есть имеют близкий к нулю коэффициент термического расширения или слабо зависящие от температуры модули упругости) и могут применяться в прецизионных приборах.
- Наконец, аморфные сплавы используются для получения нанокристаллических материалов.
- Применение аморфных сплавов сдерживают как технологические ограничения (малая толщина получаемых полуфабрикатов, полная несвариваемость), так и малая стабильность свойств их структура и свойства существенно изменяются не только при нагревах, но и за время работы при комнатной температуре.

Аморфные элинвары используют для изготовления сейсмодатчиков, мембран манометров, датчиков скорости, ускорения и крутящего момента; пружин часовых механизмов, весов, индикаторов часового типа и других прецизионных пружинных устройств. В ФРГ разработан сплав марки Vitrovac-0080, содержащий 78 % никеля, бор и кремний. Сплав имеет прочность при растяжении = 2000 МПа, модуль Юнга  $1,5 \cdot 10^5$  МПа, плотность 8 г/см<sup>3</sup>, электросопротивление 0,9 Ом\*мм<sup>2</sup>/м, предел выносливости при изгибе около 800 МПа на базе  $10^7$  циклов. Сплав рекомендуется для изготовления пружин, мембран и контактов.

Аморфные материалы используют для армирования трубок высокого давления, изготовления металлокорда шин и др. В перспективе возможно применение аморфных сплавов для изготовления маховиков. Такие маховики могут использоваться для аккумулирования энергии и покрытия пиковых нагрузок на электростанциях, для улучшения рабочих характеристик автомобилей и т. д.

АМС на основе железа применяются как материалы для сердечников высокочастотных трансформаторов различного назначения, дросселей, магнитных усилителей. Это обусловлено низкими суммарными потерями, которые в лучших АМС данного класса оказываются на порядок ниже, чем у кремнистых электротехнических сталей.

Сплавы Fe - Si - B с высоким магнитным насыщением были предложены для замены обычного кристаллического сплава Fe - Si в сердечниках трансформаторов, а также сплавов Ni - Fe с высокой магнитной проницаемостью. Отсутствие магнитокристаллической анизотропии в сочетании с довольно высоким электросопротивлением снижает потери на вихревые токи, в особенности на высоких частотах. Потери в сердечниках из разработанного в Японии аморфного сплава Fe<sub>81</sub>B<sub>13</sub>Si<sub>4</sub>C<sub>2</sub> составляют 0,06 Вт/кг, т. е. примерно в двадцать раз ниже, чем потери в текстурованных листах трансформаторной стали. Экономия за счет снижения гистерезисных потерь энергии при использовании сплава Fe<sub>83</sub>B<sub>15</sub>Si<sub>2</sub> вместо трансформаторных сталей составит только в США 300 млн. долл/год. Эта область применения металлических стекол имеет широкую перспективу.

Помимо чрезвычайно высокой начальной магнитной проницаемости, особенно на высоких частотах (10 кГц), а также нулевой магнитострикции металлические стекла на основе кобальта имеют высокую твердость и хорошие коррозионные характеристики, поэтому они находят применение в качестве материалов для магнитных записывающих головок. Высокие характеристики и широкое применение нашел разработанный в Японии сплав

Fe<sub>5</sub>Co<sub>70</sub>Si<sub>10</sub>B<sub>15</sub>. Методом закалки в валках производят ленту толщиной 50 мкм и шириной 15 мм с прекрасным качеством обеих поверхностей (шероховатость ± 3 мкм). Вследствие высокой плотности магнитного потока и высокой износостойкости записывающие головки, изготовленные из такой ленты, имеют лучшие общие характеристики, чем ферритные головки, а также головки из пермаллоев. Эти материалы находят применение в звуко-, видео-, компьютерном и другом записывающем оборудовании.

#### **Контрольные вопросы:**

1. Аморфные металлические сплавы
2. Методы получения аморфных сплавов
3. Механические свойства
4. Физические свойства
5. Применение аморфных сплавов

#### **Библиографический список**

1. Специальные материалы в машиностроении [Электронный ресурс] : Учебник для вузов / Солнцев Ю.П., Пряхин Е.И., Пирайнен В.Ю. - изд. 3-е, стереотип. - СПб. : ХИМИЗДАТ, 2017. - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785938082977.html>
2. Аскадский А.А., Вторичные полимерные материалы (механические и барьерные свойства, пластификация, смеси и наноккомпозиты) [Электронный ресурс] / А.А. Аскадский, Т.А. Мацеевич, М.Н. Попова - М. : Издательство АСВ, 2017. - 496 с. - ISBN 978-5-4323-0232-8 - Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785432302328.html>
3. Гулоян Ю. А. Технология стекла и стеклоизделий: для высших и средних специальных учебных заведениях, на предприятиях, в системах профессионально-технического и производственного обучения /Ю. А. Гулоян.-Изд. 2-е, перераб. и Гулоян доп.-Владимир :Транзит-ИКС, 2015. - 712 с: ил.
4. Нифталиев С.И. Технология керамики. Курс лекций [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Нифталиев С.И., Кузнецова И.В.— Электрон. текстовые данные.— Воронеж: Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2014.— 52
5. Бобрышев А.Н., Полимерные композиционные материалы [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Бобрышев А.Н., Ерофеев В.Т., Козомазов В.Н. - М. : Издательство АСВ, 2013. - 480 с. - ISBN 978-5-93093-980-4 - Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785930939804.html>
6. Аморфные металлы / Судзуки К., Худзимори Х., Хасимото К. - М.: Металлургия, 1987. - 328с.
7. Аморфно-нанокристаллические сплавы [Электронный ресурс] / Глезер А.М., Шурыгина Н.А - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2013. <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922115476.html>