

**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 ТФ и КМ**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

**к лабораторным занятиям по дисциплине**

**ТЕХНОЛОГИЯ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ  
ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

<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 лабораторных работ по дисциплине «Технология неметаллических материалов функционального назначения» 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 «Технология неметаллических материалов функционального назначения». Составитель д.т.н., профессор Христофоров А.И. – Владимир: 2019., 41 с.

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**

## Лабораторные занятия

Лабораторные 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- 4,5,11).

### Перечень тем лабораторных занятий

Наименование лабораторной работы	Стр
Лабораторная работа №1 Использование наполнителей для полимерных композитов	4
Лабораторная работа №2 Влияние пластификаторов на свойства полимеров	8
Лабораторная работа №3 Регулирование электрических и теплофизических свойств полимерных композитов	12
Лабораторная работа №4 Технология изделий из светотехнических стекол	16
Лабораторная работа №5 Технология получения стеклянных микросфер	19
Лабораторная работа №6 Стекла с защитными и специальными характеристиками	23
Лабораторная работа №7 Керметы, производство, применение	27
Лабораторная работа №8 Металлические стекла	30
Лабораторная работа №9 Ситаллы	35
Приложения	
• Титульный лист	38
• Библиографический список	39
• Техника безопасности	40

#### Порядок оформления отчета по лабораторным работам

1. Текст теоретической и исследовательской частей
2. Односторонняя печать, формат А4, шрифт 12 пт, расстояние между строками 1,5 интервала
3. Приложения (для сведения)
  - Приложение 1. Титульный лист
  - Приложение 2. Библиографический список
  - Приложение 3. Техника безопасности

## Лабораторная работа №1 Использование наполнителей для полимерных композитов

### Теоретическая часть

Твердые *наполнители* могут быть минеральными, органическими, керамическими и металлическими. По форме это могут быть мелкодисперсные порошки и волокнистые материалы. Полимерные композиты, наполненные длинными волокнами или волокнистыми текстильными материалами, называются армированными пластиками.

Наибольшее распространение получили мелкодисперсные наполнители минерального происхождения: тальк, мел, каолин, слюда, асбест, белая сажа, аэросил, оксиды металлов. Широко используется для создания композитов, особенно эластомерных, технический углерод (сажа). В ряде случаев для наполнения полимеров применяют органические наполнители: лигнин, древесную муку и др. Для получения материалов со специальными свойствами, в частности, с повышенными тепло- и электропроводностью, полимеры наполняют металлическими порошками. К наполнителям предъявляют ряд общих, а также специальных требований, соответствие которым позволяет придавать полимерным композитам необходимые свойства. К общим требованиям относятся высокая смачиваемость полимерным материалом, низкая стоимость, химическая и термическая стойкость, хорошая диспергируемость в полимере, нетоксичность.

Таблица 1 Свойства наполнителей

Наименование	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Твердость по Моосу	Температура, °С	
			плавления	размягчения
Каолин	2,6	1	—	1000
Тальк	2,8	1	1500	—
Слюда	2,8	2,5—3,5	—	1290
Мел	2,6—2,9	3	—	920
Аэросил	2,4	4—6	1400	—
Белая сажа	2,2	—	1200	—
Асбест	2,7	—	1550	—
Гипс	2,3	2	—	550
Технический углерод (сажа)	1,8	3	—	—

Специальные требования определяются решаемыми с помощью наполнителя задачами: повышения теплостойкости, электропроводности, создания негорючих материалов, улучшения технологичности, снижения плотности материала и другими.

Свойства некоторых дисперсных наполнителей приведены в табл. 1.

Порошкообразные наполнители имеют размер частиц от нескольких нанометров до десятков и сотен микронов. Размер и форма частиц, их фракционный состав влияют на технологию производства и свойства композитов и изделий из них. На рис. 1 показано, как изменяется износостойкость полиэтилена при увеличении размеров частиц наполнителя.

Дисперсные наполнители повышают вязкость и температуру переработки полимеров, снижают технологическую усадку, повышают размерную стабильность готовых изделий, увеличивают модуль упругости материала. Введением в композиты наполнителей можно повысить теплостойкость, снизить горючесть, изменить твердость и прочность, повлиять на другие свойства материала. На рис. 2 показано изменение модуля упругости при изгибе полипропилена от содержания в нем наполнителя.

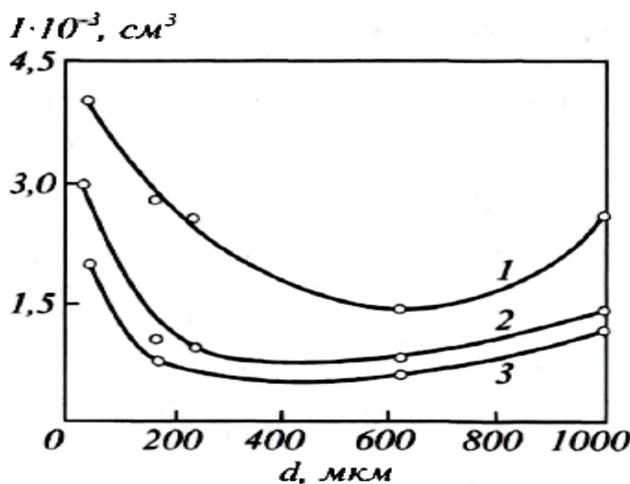


Рисунок 1 . Зависимость износа ( $I$ ) композиций на основе полиэтилена от размера частиц ( $d$ ) наполнителя (порошка железа) при его объемном содержании:  
 $1$  — 5 %;  $2$  — 10 %;  $3$  — 20 %

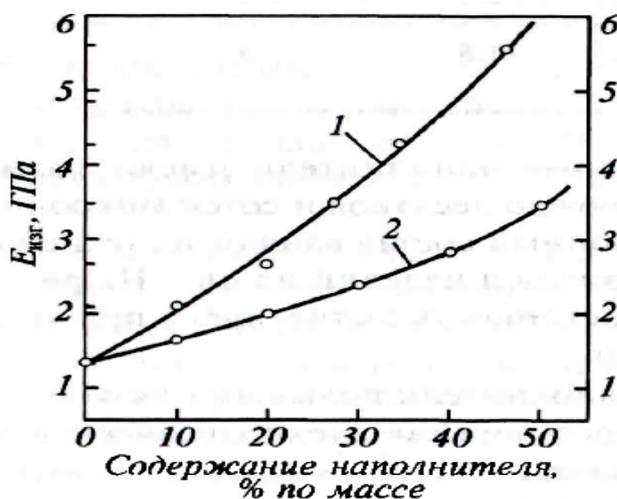


Рисунок 2 . Влияние содержания талька ( $1$ ) и мела ( $2$ ) на модуль упругости при изгибе ( $E_{изг}$ ) полипропилена

Из приведенных данных следует, что различные наполнители по-разному влияют на жест-

кость исходного полимера. При увеличении их содержания модуль упругости возрастает, что является следствием уменьшения гибкости макромолекул из-за возникающих связей между частицами наполнителя и макромолекулами полимера

Наполнители не только влияют на технологические, физико-механические, теплофизические и другие свойства материалов, но и, как правило, уменьшают их стоимость, поскольку они в большинстве случаев дешевле полимеров.

Свойства наполненных полимерных композитов определяются характеристиками полимерной матрицы, дисперсного наполнителя и их взаимодействием на границе раздела.

В результате этого взаимодействия уменьшается подвижность макромолекул и их сегментов в граничном слое, что приводит к повышению температур стеклования и текучести.

Содержание наполнителей в полимерном композите должно быть оптимальным как с точки зрения возможности его переработки, поскольку с его увеличением растет вязкость материала, так и с точки зрения его влияния на эксплуатационные характеристики. При содержании наполнителя выше оптимального многие свойства композита ухудшаются. На рис. 8.3 показано, как изменяется прочность различных термопластов при их наполнении дисперсным стеклянным волокном.



Рисунок 3 Влияние содержания волокна на прочность при растяжении термопластов:

1 — полистирола; 2 — АБС-пластика; 3 — сополимера стирола и акрилонитрила; 4 — поликарбоната; 5 — полиамида 66

Из приведенных данных видно, что для полимеров существует предельное содержание наполнителя, превышение которого приводит к снижению прочностных свойств композита. Обычно оно не превышает 50 % по массе.

### Выполнение работы

**Цель:** 1. Изучить теоретические материалы использование наполнителей для полимерных композитов

**Задание:** 1. Освоить понятие полимерный композит 2. Композиции для получения наполненных полимеров 3. Изучить технологию получения наполненных полимеров

Оборудование: весы аналитические (точность 0,01 г), мельница шаровая активаторного типа, пресс лабораторный усилием 4 т. , муфельная печь с температурой не менее 1200 °С, разрывная машина для испытания на сжатие и изгиб

### **Порядок выполнения работы.**

По заданию преподавателя подготовить композицию, измельчить в шаровой мельнице активаторного типа, спрессовать образцы: а) для испытания на сжатие, б) для испытания на изгиб, образцы поместить в муфельную печь и провести спекание ситалла. После охлаждения полученные образцы испытать на сжатие и изгиб.

Предел прочности на сжатие (МПа) рассчитывается по формуле  $\sigma_{сж} = P/10 \cdot S$ , где  $P$  – усилие, соответствующее разрушению образца, Н;  $S$  – первоначальная площадь поперечного сечения образца, см<sup>2</sup>.

Предел прочности при изгибе (МПа) определяется по формуле:  $\sigma_{изг} = \frac{3P_{изг}l}{20bh^2}$ ,

где  $P_{изг}$  – изгибающая нагрузка в момент разрушения, Н;  $l$  – длина образца, см;  $b$  – толщина образца, см;  $h$  – ширина образца, см.

### **Контрольные вопросы**

1. Перечень твердых наполнителей
2. Мелкодисперсные наполнители
3. Общие требования к наполнителям
4. Специальные требования
5. Влияние дисперсных наполнителей на свойства материала
6. Зависимость износа ( $I$ ) композиций на основе полиэтилена от размера частиц ( $c!$ ) наполнителя (порошка железа) при его объемном содержании.
7. Влияние содержания талька ( $I$ ) и мела ( $2$ ) на модуль упругости при изгибе ( $Emz$ ) полипропилена.
8. Влияние содержания волокна на прочность при растяжении термопластов:  
1 — полистирола; 2 — АБС-пластика; 3 — сополимера стирола и акрилонитрила; 4 — поликарбоната; 5 — полиамида 66
9. Оборудование для проведения лабораторных работ
10. Порядок выполнения работы
11. Формулы для определения  $\sigma_{сж}$  ;  $\sigma_{изг}$

## Лабораторная работа №2 Влияние пластификаторов на свойства полимеров

### Теоретическая часть

Значительное влияние на структуру и свойства полимеров оказывают пластификаторы. Пластификаторами называются низкомолекулярные вещества, повышающие эластичность и пластичность полимеров. Пластификаторы оказывают значительное влияние на структуру и свойства полимеров. С их помощью можно направленно изменять морозостойкость и хрупкость, ударную вязкость и технологичность, тепло-, электрофизические и другие свойства полимеров.

В результате взаимодействия пластификатора с сегментами макромолекул увеличивается подвижность последних и изменяются температуры стеклования и текучести полимера. На рис. 1 приведены термомеханические кривые для непластифицированного и пластифицированного полимера.

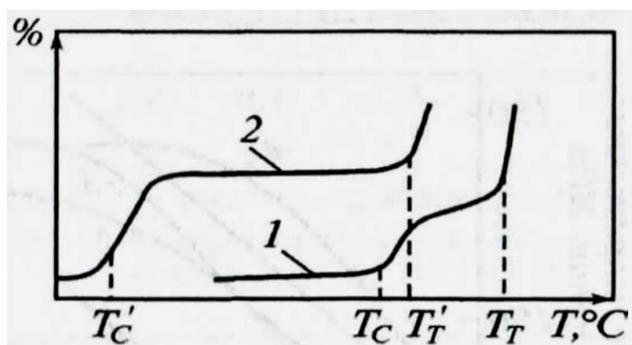


Рисунок 1. Термомеханические кривые непластифицированного (1) и пластифицированного (2) полимера ( $\epsilon$  — деформация при сжатии;  $T$  — температура)

Изменение температуры стеклования является мерой пластифицирующей способности пластификатора

по отношению к данному полимеру. Уменьшение температуры стеклования позволяет расширить температурный диапазон высокоэластического состояния полимера, а снижение температуры текучести облегчает переработку композиции, улучшает диспергируемость наполнителя и других ингредиентов смеси.

На рис. 2 показано влияние пластификаторов на показатель текучести расплава поливинилхлорида. Как правило, прочностные свойства полимеров с увеличением содержания пластификатора ухудшаются, что объясняется ослаблением взаимодействия между макромолекулами и увеличением их подвижности.

В качестве пластификаторов используют низкомолекулярные соединения с высокой температурой кипения. Наиболее часто применяют эфиры алифатических и ароматических карбоновых кислот, сложные полиэфиры, эфиры фосфорной кислоты, эпоксидированные соединения, синтетические и растительные масла и другие вещества.

Низкомолекулярные пластификаторы образуют с полимером в большинстве случаев термодинамически совместимые смеси. Во многих случаях совместимость бывает ограниченной. При выборе пластификатора руководствуются не только его влиянием на свойства полимера, но и определяют пределы его совместимости с данным полимером при температурах возможной эксплуатации изделия.

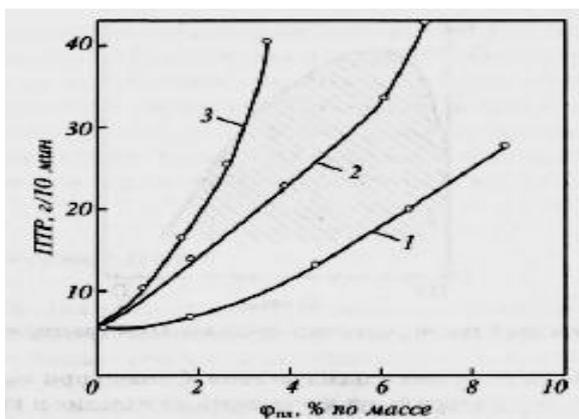


Рисунок 2. Зависимость показателя текучести расплава (ПТР) при 200 °С поливинилхлорида от содержания пластификатора (<рпл):

1 — диоктилфталата; 2 — диоктилсебацата; 3 — полиэтилсилоксановой жидкости ПЭС-5

многих случаях совместимость бывает ограниченной. При выборе пластификатора руководствуются не только его влиянием на свойства полимера, но и определяют пределы его совместимости с данным полимером при температурах возможной эксплуатации изделия.

О совместимости можно судить по скорости и величине набухания полимера в данном пластификаторе. Пределы совместимости для большинства пар «полимер — пластификатор» хорошо изучены и имеются в справочной литературе. На рис. 3 приведена диаграмма фазового состояния смесей полимера с пластификатором.

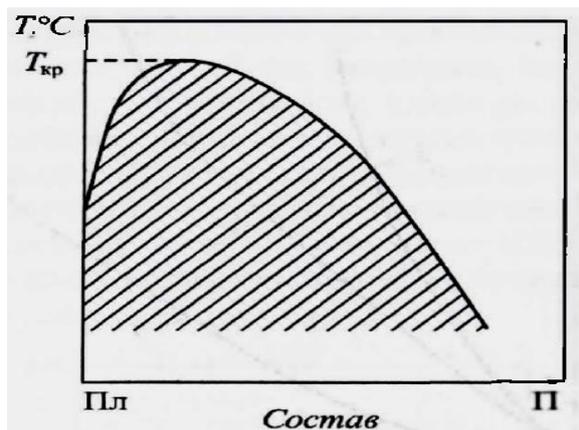


Рисунок 3 Общий вид фазовой диаграммы «полимер (П) — пластификатор (Пл)»

В заштрихованной области диаграммы полимер и пластификатор термодинамически несовместимы. С увеличением температуры совместимость полимера и пластификатора растет, и выше какой-то критической для данной пары температуры  $T_{кр}$  эти вещества при

любом соотношении образуют термодинамически совместимые смеси. Поскольку температура, при которой происходит смешение, превышает температуру эксплуатации изделий, то существует опасность получить гомогенную композицию при содержании пластификатора выше предельно допустимого для получения термодинамически совместимой смеси в условиях эксплуатации. Однако при эксплуатации излишки пластификатора будут выпотевать из изделия и ухудшать его физико-механические свойства вследствие потери им физической стабильности.

В тех случаях, когда  $T_{кр}$  выше температуры эксплуатации, расслоения смеси и выпотевания пластификатора можно не опасаться, так как при этой температуре оба вещества неограниченно совместимы.

Иногда в качестве пластификаторов используют высокомолекулярные соединения. Такие полимерные смеси хотя и имеют двухфазную структуру, но сохраняют гомогенность во всем интервале температур эксплуатации. Эффективность высокомолекулярных пластификаторов, как правило, ниже, чем низкомолекулярных соединений, однако в ряде случаев позволяет решить необходимые технические задачи (повысить морозостойкость, эластичность ит.п.).

Таблица 1. Пределы совместимости пластификаторов с полимерами при 20 °С (масс. ч. на 100 масс. ч. полимера)

Пластификатор	Полимеры							
	ПВХ	ПВА	ПС	ПА	НПС	ЭС	ПУ	ФФС
Дибутилфталат	100	100	100	25	20	25	25	—
Бутилбензилфталат	100	100	100	25	20	25	25	—
Диизодециладипинат	50	1	25	25	1	1	15	—
Трифенилфосфат	20	80	20	10	10	10	10	50
Трикрезилфосфат	100	40	15	25	20	25	25	—
Эпоксидированное соевое масло	100	1	—	—	—	—	—	—

### Выполнение работы

**Цель:** 1. Изучить теоретические материалы влияния пластификаторов на свойства полимеров

**Задание:** 1. Освоить понятие «пластификатор» 2. Композиции для получения пластифицированных полимеров 3. Изучить технологию получения пластифицированных полимеров

Оборудование: весы аналитические (точность 0,01 г), смеситель ингредиентов, форма для получения пластины, вырубной нож, лабораторный винтовой пресс, термошкаф с температурой не менее 250 °С, разрывная машина для испытания на растяжение

#### **Порядок выполнения работы.**

По заданию преподавателя подготовить композицию полимер- пластификатор, ингредиенты смешать в смесителе, сформовать образцы, образцы с формой поместить в термошкаф и провести спекание композита. После охлаждения полученного листа пластифицированного полимера вырубным ножом на винтовом прессе вырубить образец и испытать его на относительное удлинение при разрыве.

Рассчитать относительное удлинение по формуле

$$\Delta l = (l_0 - l_R) \cdot 100 / l_0, \%$$

где  $l_0$  – длина образца перед испытанием, см;  $l_R$  - длина образца при разрыве, см; 100 - множитель для перевода  $\Delta l$  в %.

### **Выводы**

### **Контрольные вопросы**

1. Пластификаторы, понятие, назначение
2. Перечислите широко распространенные пластификаторы полимеров
3. Термомеханические кривые не пластифицированного и пластифицированного полимера
4. Фазовая диаграмма «полимер (П) — пластификатор (Пл)»
5. Критические температуры совмещения пластификатор-полимер
6. Эффект «выпотевания полимера»
7. Применение высокомолекулярных соединений в качестве пластификатора.
8. Оборудование для проведения лабораторной работы
9. Порядок выполнения работы
10. Формулы для определения относительного удлинения

**Лабораторная работа №3 Регулирование электрических и теплофизических свойств  
КОМПОЗИТОВ**

**Теоретическая часть**

**Регулирование электрических свойств полимерных материалов**

Полимеры широко используются в электротехнике, электронных приборах, в различном оборудовании, где очень важно иметь материалы с определенными электрическими характеристиками. К таким характеристикам, значение которых бывает необходимо регулировать, относятся электропроводность, электрическая прочность, диэлектрическая проницаемость и др. Электропроводность является обратной величиной электрического сопротивления, которое зависит от объема ( $\rho_{об}$ ) и от поверхности ( $\rho_{пов}$ ) образца полимера.

Значения величин удельного электрического сопротивления для некоторых полимеров приведены в табл. 1

Таблица 1 Значения удельного электрического сопротивления некоторых полимеров

Полимер	Сопротивление	
	объемное $\rho_{об}$ , Ом·м	поверхностное $\rho_{пов}$ , Ом
Полиамид	$10^{11} - 10^{13}$	$10^{12} - 10^{13}$
Поливинилхлорид	$10^{10} - 10^{14}$	$10^{13} - 10^{14}$
Полиэтилентерефталат	$10^{13} - 10^{14}$	$10^{14} - 10^{15}$
Поликарбонат	$10^{14} - 10^{15}$	$10^{14} - 10^{16}$
Полиэтилен, полипропилен	$10^{14} - 10^{15}$	$10^{15} - 10^{16}$
Полистирол	$10^{14} - 10^{16}$	$10^{16} - 10^{17}$
Политетрафторэтилен	$10^{15} - 10^{17}$	$10^{16} - 10^{17}$
Полифениленоксид	$10^{15} - 10^{17}$	$10^{16} - 10^{17}$
Фенопласты	$10^7 - 10^{11}$	$10^{10} - 10^{14}$

Наполнители могут влиять на электропроводность по-разному в зависимости от их природы. Высокое содержание электропроводных наполнителей (металлических порошков, графита) позволяет значительно увеличить электропроводность полимерного материала. На основе таких композитов получают, например, электронагреватели сложной геометрической формы.

Каких-либо ограничений для применения полимеров в качестве связующего при создании электропроводных полимерных материалов не существует. Это могут быть жесткие термо- и реактопласты с постоянной формой изделия или резиноподобные материалы с изменяющейся при нагружении формой, т. е. материалы, способные к большим обратимым деформациям.

В качестве электропроводных наполнителей используют порошки железа, меди, алюминия, никеля, олова, висмута, кадмия, палладия, а в некоторых случаях — серебра и золота. Размер частиц металла составляет  $(1—3) \cdot 10^{-7}$  м. Механизм электропроводимости полимеров зависит от содержания металлических частиц, которое может достигать до 90 % по объему. Широко используют для получения электропроводных полимерных материалов технический углерод и графит, как в виде порошков, так и в виде волокон и тканей. В последнем случае получают электропроводные материалы с высокой прочностью, обладающие анизотропными свойствами.

Электропроводные полимерные материалы широко используются в производстве радиоэкранирующих изделий и оболочек. Радиоэкранирующие свойства таких изделий увеличиваются с ростом электропроводности полимерного материала. Углепластики, обладающие высокой электропроводностью, используются для создания антирадарной авиационной и ракетной техники.

Диэлектрические характеристики полимеров (диэлектрическая проницаемость  $\epsilon$ , тангенс угла диэлектрических потерь ( $\operatorname{tg}\delta$ )) имеют большое значение. В частности, от них зависит способность материалов к быстрому нагреву в переменном электрическом поле высокой частоты. Эти характеристики определяются строением полимера и зависят от частоты и напряженности переменного электрического поля и температуры материала. Тангенс угла диэлектрических потерь различных полимеров изменяется от КГ1 (фенопласты) до 10~4 (фторопласт-4, полиэтилен). Диэлектрическая проницаемость зависит от полярности полимера. Этот показатель изменяется от 1,9 у неполярных полимеров (фторопласт-4) до 8,0 у полярных (полиуретан). Изменяя состав полимерной композиции, удается создавать материалы с заданными электрическими свойствами.

Одной из областей применения полимерных материалов с высокими диэлектрическими характеристиками является производство радиопрозрачных материалов для механической защиты радиопередающих устройств. Для этих целей используются стеклопластики на основе различных смол (полиэфирных, эпоксидных, фенолформальдегидных), а также ячеистые полимерные материалы с низкой плотностью, поскольку воздух обладает прекрасными диэлектрическими характеристиками.

### ***Регулирование теплофизических свойств полимерных материалов***

К теплофизическим свойствам относят тепло- и температуропроводность, теплоемкость, температурные коэффициенты линейного и объемного расширения. Эти свойства базовых полимеров приведены в табл. 2

Таблица 2 Теплофизические свойства некоторых полимеров

Полимеры	Теплопроводность, Вт/(м·К)	Удельная теплоемкость, кДж/(кг·К)	Температуропроводность $\times 10^7$ , м <sup>2</sup> /с	Температурный коэффициент линейного расширения $\times 10^5$ , К <sup>-1</sup>
Полистирол	0,09—0,14	1,3—1,5	0,8—0,9	6—8
Полиметилметакрилат	0,17—0,19	1,3—2,1	0,9—1,1	7
Полипропилен	0,19—0,21	1,93	1,3	9—11
Поликарбонат	0,19—0,21	1,17	0,8—1,9	2,6—5,0
Полиарилаты	0,2—0,3	1,1—1,2	—	—
Политетрафторэтилен	0,25	1,0	1,1	8—25
Полиэтилен низкой плотности	0,32—0,36	1,8—2,5	1,3—1,5	10—13
Полиэтилен высокой плотности	0,42—0,44	1,9—2,1	1,9	17—20
Полиамид	0,3	1,0—1,7	1,0—1,7	2—14

### Выполнение работы

**Цель:** 1. Изучить теоретические материалы регулирования электрических и теплофизических свойств композитов

**Задание:** 1. Освоить вопросы регулирования электрических и теплофизических свойств композитов.

2. Исследовать образцы полимеров и композитов на теплопроводность.

Оборудование: образцы изделий из полимерных материалов, прибор для определения теплопроводности материалов.

### Порядок выполнения работы.

По заданию преподавателя испытать теплопроводность полимерных материалов и композитов. Провести теоретические расчеты теплопроводности композитов по формуле

$$\lambda = \sum_{\omega}^i (\lambda_i m_i + \dots \lambda_w m_w) / M_{общ}$$

где  $\lambda_i$  – коэффициент теплопроводности  $i$ -го компонента полимерного композита,  $m_i$  – массовая доля  $i$ -го компонента полимерного композита;  $\lambda_w$  – коэффициент теплопроводности  $w$ -го компонента полимерного композита,  $m_w$  – массовая доля  $w$ -го компонента полимерного композита;  $M_{общ}$  – общая масса композита

### Выводы.

### Контрольные вопросы

1. Дать понятие терминов: электропроводность, электрическая прочность, диэлектрическая проницаемость. Размерность показателей

2. Влияние наполнителей
3. Электропроводные наполнители
4. Применение электропроводных полимерных материалов
5. Диэлектрические характеристики полимеров
6. От чего зависит диэлектрическая проницаемость полимера. Интервалы её изменения
7. Дать понятие терминов: тепло- и температуропроводность, теплоемкость, температурные коэффициенты линейного и объемного расширения; размерность показателей
8. Представить пример полимеров имеющих;
  - наименьшую теплопроводность
  - наибольшую теплоёмкость
  - наибольшую температуропроводность
9. Оборудование для проведения лабораторной работы
10. Теоретическое определение ожидаемой теплопроводности композитов

### **Теоретическая часть**

Светотехнические, защитные и специальные стекла выполняют следующие функции, связанные со спектром падающего на них следующие функции, связанные со спектром падающего на них потока излучения:

- изменение направления;
- изменение интенсивности;
- изменение спектральной характеристики.

Стекло может выполнять либо одну из этих функций, либо две или три одновременно. В то же время изменение направления световых потоков и изменение их интенсивности может осуществляться не только стеклом, но и формой изделия (линза, призма). Изменение же спектральной и рассеивающей характеристик связано с наличием окрашивающих центров или рассеивающих свет неоднородностей в самом стекле. Светотехнические, защитные и специальные стекла работают в диапазоне электромагнитных волн, охватывающем ультрафиолетовую, видимую, инфракрасную области, а также рентгеновское, нейтронное и  $i$  – излучение.

Большинство изделий из промышленных стекол в той или иной степени выполняет вышеперечисленные светотехнические и защитные функции. По существу, к светотехническим изделиям можно отнести изделия из оптического стекла, элементы волоконной оптики и т.п. Стекло защищает некоторые виды пищевых продуктов от вредного воздействия ультрафиолетового излучения. Основы технологии этих видов изделий изложены в соответствующих главах. В настоящей же главе рассматривается технология изделий из светотехнических (сигнальных, осветительных) и защитных стекол, связанных с безопасностью и здоровьем людей в промышленности и на транспорте. Кроме того кратко рассматриваются основы технологии специальных стекол (лазерных, фотохромных), расширяющих светотехнические возможности стекла.

### **Виды светотехнических изделий**

Светотехнические изделия предназначены для изменения направления, интенсивности или спектрального состава потока лучей от того или иного источника света. Изготавливают их из бесцветного или цветного стекла. В зависимости от назначения они могут преломлять, отражать или рассеивать свет, поглощать лучи определенных длин волн или увеличивать пропускание таких лучей, для которых обычные промышленные стекла малопрозрачны. Светотехнические изделия должны иметь определенные значения таких показателей, как коэффициенты пропускания, отражения, поглощения, оптическая плотность, рассеивающая способность, спектральный состав и чистота цвета. Другие требования к светотехническим стеклам связаны с условиями их эксплуатации. Наиболее типичные условия – длительная служба в окружающей атмосфере с перепадами температуры вследствие нагрева проходящими световыми потоками. В связи с этим к стеклам

предъявляются требования по химической устойчивости, в основном, водостойкости, термической устойчивости и механической прочности. Эти требования находятся в определенных пределах требований, предъявляемых к силикатным стеклам.

### Преломляющие, отражающие и рассеивающие изделия

К **преломляющим** светотехническим изделиям относятся призматические осветители, линзы и фары.

Призматические осветители посылают пучок света в строго определенном направлении. Для этого их монтируют из двух колпаков – внутреннего и наружного (рис. 1 а). Внутренний колпак 1 имеет на внешней поверхности горизонтальные кольцевые призмы, которые преломляют лучи света АВ, АС, АД и направляют их на освещаемую поверхность. Наружный колпак 2 состоит из системы вертикальных призм, расположенных на внутренней поверхности. Они рассеивают лучи, выходящие из внутреннего колпака и обеспечивают равномерное, почти бестеневое освещение. Светильники применяют как для внутреннего, так и для наружного освещения.

Бесцветные и цветные **призматические линзы и фары** со сферической или цилиндрической поверхностью обеспечивают определенное направление, цвет и интенсивность светового потока.

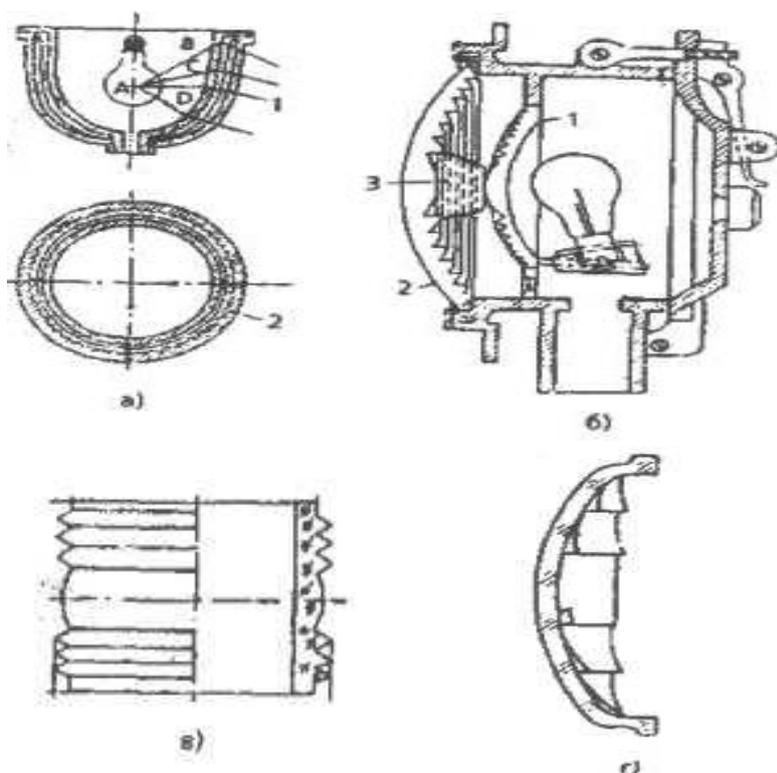


Рисунок 1 Преломляющие светотехнические изделия, а - призматический светильник: А - источник света; АВ, АС АД - лучи; 1 - внутренний колпак; 2 - наружный колпак.

б) - призматические линзы в светофоре: 1 - цветная линза; 2 - бесцветная линза; 3 - цилиндрическая отклоняющая вставка; в) - цилиндрическая линза Френкеля; г) - стекло для фары

Сферические линзы {линзы Френеля), применяемые в конструкции железнодорожных и городских светофоров, создают параллельный пучок лучей, видимый на большом расстоянии от источника света.

Светофор (рис. 1 б) состоит из двух ступенчатых сигнальных линз: цветной 1 (красной, зеленой или желтой), имеющей на выпуклой стороне кольцевые призмы и бесцветной 2, несколько большего размера, у которой кольцевые призмы расположены на вогнутой поверхности.

Сигнал такого светофора виден на расстоянии по 8-10 км, а ночью или при густом тумане до 700-800 м. Между линзами помещают небольшую цилиндрическую вставку 3, отклоняющую часть света вниз или в сторону под углом до 30°С в тем, чтобы сигнал был виден и на близком

расстоянии от высокорасположенного светофора. Цилиндрические (поясные или бочкообразные) линзы (рис. 1 в) создают плоский, круговой лучок света, видимый издали с любой стороны; такие линзы используют на водном транспорте, бакенах, маяках и аэродромах. Назначение фар – посылать пучок света в определенном направлении, одновременно расширяя его. Обращенная к лампе вогнутая поверхность автомобильной фары образована двумя группами взаимно перпендикулярных призм (рис. 1 г), которые направляют свет на дорогу и рассеивают его по всей ширине пути.

**Отражающие изделия (рефлекторы)** также устанавливают вогнутой стороной к источнику света. Последний помещают в фокусе отражателя, имеющего параболическую или сферическую поверхность, на которую снаружи наносят зеркальный слой.

### **Выполнение работы**

**Цель:** 1. Изучить теоретические материалы технологии получения изделий из светотехнических стекол

**Задание:** 1. Освоить понятие «изделий из светотехнических стекол»

2. Композиции для получения изделий из светотехнических стекол

3. Изучить технологию получения изделий из светотехнических стекол

Оборудование: образцы изделий из светотехнических стекол, источник направленного света

#### **Порядок выполнения работы.**

По заданию преподавателя визуально испытать на качественное изменение светопоглощения, светоотражения и светорассеивания изделий из светотехнических стекол при облучении источником направленного света

#### **Выводы.**

### **Контрольные вопросы**

1. Функции светотехнических стекол
2. Какие стеклоизделия относятся к светотехническим
3. Виды светотехнических изделий
4. Преломляющие светотехнические изделия: призматический светильник
5. Призматические линзы, устройство, применение
6. Цилиндрическая линза Френкеля, устройство, применение
7. Рефлекторы
8. Оборудование для проведения лабораторной работы
9. Порядок выполнения работы
10. Качественные характеристики полученного стекла

***Теоретическая часть***

К светоотражающим изделиям относятся также стеклянные микрошарики (СМШ) диаметром 50-1000 мкм, которые используются в производстве отражающих дорожных знаков, покрытий и различных сигнальных светотехнических устройств. Возможность получения окрашенных СМШ позволяет использовать их для светоотражающих деталей автомобилей (фонарей) и различных декоративных изделий. Кроме того СМШ широко применяются в качестве наполнителя при создании полимерных композиционных материалов различного назначения, при струйно-абразивной обработке металлических поверхностей, для использования в клинических противоожоговых кроватях и т.д.

Стекло для преломляющих и отражающих светотехнических изделий должно иметь достаточно высокое светопреломление и пропускание, быть хорошо осветленным и однородным. В то же время изделия. Имеющие преломляющие и отражающие элементы (призматические осветители, линзы и фары) формуют прессовым способом на автоматических и полуавтоматических прессах с высоким прессующим усилием, т.к. необходимо точно отпрессовывать отражающие и преломляющие элементы изделий. При выработке формы должны быть хорошо прогреты и порция стекломассы точно дозирована, т.к. толщина изделий строго регламентирована. Скорость твердения стекол при выработке должна быть сравнительно небольшой, чтобы изделия формовались «мягко», без посечек и имели четкие очертания преломляющих и отражающих элементов.

Отражающие стеклянные микрошарики (СМШ) диаметром 50-1000 мкм получают свободным формованием в высокотемпературном потоке газов под действием сил поверхностного натяжения. При этом действие поверхностных сил значительно превосходит действие сил тяжести.

Способы получения СМШ можно объединить в две группы. Первая включает способы получения СМШ путем оплавления предварительно измельченного стекла, вторая - способы получения из расплава. Способами первой группы получают микрошарики размером от 5 до 500 мкм, в то время как способы второй группы позволяют получать сферические частицы размером свыше 500 мкм.

Основным способом (с различными модификациями) крупнотоннажного производства СМШ является обработка порошков предварительно измельченного стекла в высокотемпературном газовом потоке. Способ включает в себя следующие основные стадии: измельчение стекла и получение стеклопорошков определенного гранулометрического состава, формование СМШ в высокотемпературном газовом потоке, улавливание, охлаждение и клас-

сификация СМШ по размерам. Для формования СМШ применяются газовые горелки различной конструкции. В некоторых случаях могут быть использованы и другие источники энергии. Например, оплавление тугоплавких частиц стекла (кварцевого и высококремнеземистого) можно проводить в ВЧ-плазме. Формование СМШ осуществляется при вертикальном и горизонтальном направлении газового потока (рис. 1). После подачи исходных порошков стекла в пламя горелки, микрошарики формируются под действием поверхностных сил в вертикальном восходящем (рис. 1 А) и горизонтальном (рис 1 Б) высокотемпературном газовом потоке.

Способы получения СМШ из расплава отличаются прежде всего принципами организации процесса дробления тонкой струи стекломассы на дискретные частицы и выбором соответствующего технологического оборудования. К числу этих способов относятся капельный метод, метод вращающегося элемента (диска, барабана), метод раздува струи высокоскоростным газовым потоком.

При использовании мощных источников света, стеклянные осветители нагреваются до высокой температуры. Для таких источников света колпаки делают из термостойких боросиликатных стекол, например, из стекла «пирекс», которое варят и вырабатывают при высокой температуре (варка - 1650°C, выработка 1400°C). При прессовании таких изделий используют формы и керны из жароупорной стали.

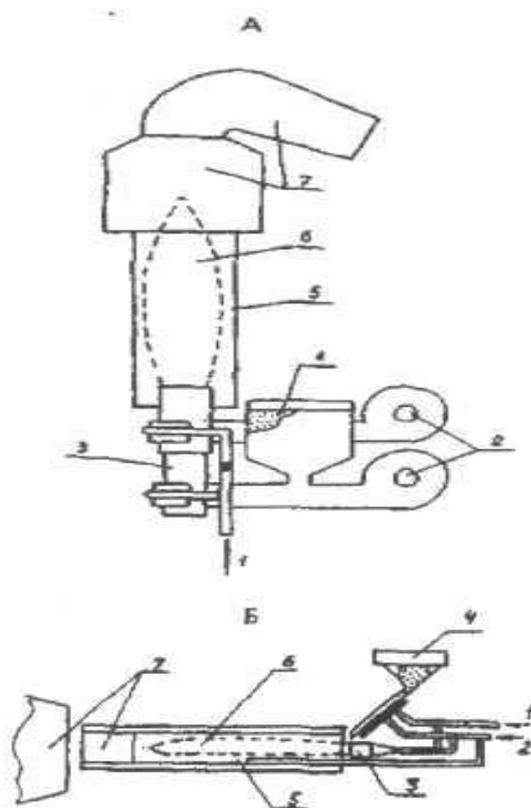


Рисунок 1. Установки для получения стеклянных микрошариков (СМШ) с вертикальным (А) и горизонтальным (Б) направлением газового потока\*. 1 - подвод газа; 2 - подвод воздуха; 3 - горелка; 4 - инжекционный дозатор порошков стекла; 5 - камера формирования; € - факел горелки; 7 - камеры охлаждения и выдачи СМШ.

Особенно высокие требования в отношении качества, однородности и светопропускания предъявляют к стеклу для крупных цилиндрических маячных линз, которые могут иметь в диаметре до 2 м. Стекломассу для них варят в ваннах печей, выложенных из высокотемпературных огнеупоров. В состав шихты вводят окислители.

Крупные линзы набирают из отдельных колец, которые прессуют или вырабатывают центробежным способом. При прессовании кольца получаются с доньшками, которые отрезают после отжига. Заготовки колеи поясных маячных линз самых больших размеров. сначала моллируют, а затем прессуют в чугунных формах. После отжига поверхности отражателей, поясных линз, а также края линз и плоскости контакта колец шлифуют и полируют.

Светорассеивающие характеристики стекол зависят от состава стекла и от условий термической обработки изделий.

### Выполнение работы

**Цель:** Получение стеклянных микросфер

**Задание:**

1. Изучить теоретический материал получения стеклянных микросфер
2. Подготовить порошок из свинцового стеклобоя на шаровой мельнице.
3. Провести ситовый анализ измельченного материала.
4. Просеять порошок и отобрать фракцию, прошедшую через сито 0,02 мм; остальные фракции отправить на дополнительное измельчение (операцию повторить несколько раз)
5. Микроскопическим методом определить гранулометрический состав исходного материала.
6. Порошок поместить на кварцевую подложку и поставить в муфельную печь, предварительно нагретой до заданной температуры.
7. Выдержать в муфельной печи в течение заданного времени, извлечь кварцевую подложку с микрошариками и охладить на воздухе.
8. Микроскопическим методом определить гранулометрический состав полученного изделия.
9. Результаты свести в таблицу 1

**Оборудование:** весы аналитические (точность 0,01 г), мельница шаровая активаторного типа, пресс лабораторный усилием 4 т., муфельная печь с температурой не менее 1200 °С. Набор сит для классификации порошка шихты

Таблица 1. Результаты лабораторных исследований по получению микросфер

Время измельчения шихты, мин	Фракция шихты, мм	Ситовый анализ измельченного стеклобоя		Микроскопический анализ фракции 0,02 мм		Микроскопический анализ стеклосфер	
		Масса, гр	Массовая доля	Диаметр частиц $d_{min} \rightarrow d_{max}$	№ частиц, компьютер. программа	Диаметр частиц $d_{min} \rightarrow d_{max}$	№ частиц, компьютер. программа

## **Выводы:**

### **Контрольные вопросы**

1. Стекланные микрошарики, назначение
2. Получение отражающих стекланных микрошариков (СМШ) диаметром 50-1000 мкм, способы получения
3. Основной способ получения отражающих стекланных микрошариков.
4. Установка для получения стекланных микрошариков (СМШ) с вертикальным направлением газового потока.
5. Установки для получения стекланных микрошариков (СМШ) горизонтальным (Б) направлением газового потока.
6. Особенности стекл колпаков, применяемых при использовании мощных источников света
7. Термостойкое боросиликатное стекло «пирекс», температуры варки и выработки
8. Требования к стеклу для крупных цилиндрических маячных линз.
9. Оборудование для проведения лабораторной работы
10. Порядок выполнения работы
11. Качественные характеристики полученных стеклосфер

### *Теоретическая часть*

1. Изделия из стекол с защитными характеристиками применяются для обеспечения безопасности и здоровья людей при работе с интенсивным излучением невидимой части спектра (инфракрасным, ультрафиолетовым) и проникающим жестким излучением (рентгеновским, нейтронным,  $\gamma$ -излучением).

Стекла, поглощающие инфракрасные лучи (теплопоглощающие), находят применение при застеклении окон, а в странах с жарким климатом, в защитных колпаках мощных электроламп («юпитеры») для киносъемок, лампы над операционными столами и т.д.), для оптических приборов, в качестве ветровых стекол автомобилей и т.д. Теплопоглощающие стекла имеют нейтральный (серый) или голубой цвет, так как железо в них присутствует в форме  $Fe^{2+}$ . Во избежание образования сульфидов железа (сильных красителей) в состав стекол вводят оксид цинка, который связывает примеси серы в бесцветный  $ZnS$ . Содержание оксидов железа в теплозащитных стеклах составляет от 0,25% (в автомобильных, так называемых «детермальных» стеклах) до 0,7% (в строительных теплозащитных); в шихте используют карбонат железа с чистым восстановителем (C, Sn, Al).

Листовое теплозащитное стекло варят в ваннах печей непрерывного действия при восстановительных условиях и выработывают способом вертикального вытягивания (лодочным или безлодочным). Наилучшими теплозащитными свойствами обладают фосфатные стекла, однако для их производства требуются дефицитные материалы. Эти стекла сильно летучи, активно разъедают огнеупоры, легко кристаллизуются.

Теплопоглощающее и теплоотражающее действие можно обеспечить нанесением покрытий, поверхностным окрашиванием.

Стекла, поглощающие ультрафиолетовые лучи, применяют при электросварке, киносъемках, работе с кварцевыми лампами, а также для защиты от действия сильного солнечного света. Стекла, поглощающие только ультрафиолетовые лучи, - бесцветны, в их состав входят оксиды бария, свинца, церия. Изготавливают также цветные стекла, поглощающие кроме ультрафиолетовых синие и фиолетовые лучи, в их состав вводят оксиды железа, хрома, сульфиды. Стекла для электросварщиков и очки солнцезащитные стекла имеют в проходящем свете желто-зеленый цвет; в отраженном свете они почти черные. Эти стекла окрашивают большим количеством оксида железа (до 8%) и варят в окислительных условиях.

В противоположность стеклам, прозрачным для рентгеновских лучей, в составы стекол, защищающих от действия рентгеновских лучей, вводят оксиды тяжелых элементов с большими атомными номерами - РЬ, Ва, Вi и др.

**2. Многосвинцовые** стекла варят в ваннах печей, выложенных из кварцевых огнеупоров, при сильноокислительных условиях и при температуре варки не выше  $1200^{\circ}C$ . Их непрерывно перемешивают в процессе варки ввиду склонности к расслаиванию. Стекла отливают и прокатывают в листы, которые затем отжигают, нарезают, шлифуют и полируют. Стекло можно получать в виде гранулята (для изготовления паст) и отливок. Многосвинцовые стекла в виде блоков, набираемых в несколько слоев (толщина 2-2,5 м) с прокладками из пластика, применяют для защиты от дей-

ствия  $\gamma$ -лучей в смотровых окнах реакторов. Стекла, защищающие от действия тепловых нейтронов, содержат оксид бора и кадмия. Технология их получения такая же, как стекол, предохраняющих от рентгеновских лучей.

**3.К стеклам, применяемым в атомной технике**, кроме защитных, относятся стекла, окраска и светопропускание которых не изменяются под действием радиоактивных излучений - радиационноустойчивые, а также и такие, которые закономерно изменяют окраску или светопропускание в зависимости от интенсивности проникающего излучения - дозиметрические.

Радиационноустойчивые стекла применяют в приборах и остеклениях, работающих в условиях воздействия проникающих радиации. Для предотвращения окрашивания стекол в их состав вводят добавки поливалентных элементов Ce, Cr, Mn, As, Fe в состоянии высшей валентности. Чаще всего в состав стекол вводят сверх 100% 0,4-0,8%  $\text{CeO}_2$ . Спектральное пропускание стекол изменяется в прямой зависимости от интенсивности падающего на них излучения вплоть до дозы в  $10^6$  р. Поэтому по изменению светопропускания можно количественно оценить дозу излучения (дозиметрические стекла). Некоторые составы защитных стекол приводятся в таблице 15.4.

**Изделия из специальных стекол.** Эти изделия получают из стекол, составы и свойства которых позволяют получать новые светотехнические характеристики и, следовательно, расширять области применения стекла. К числу таких стекол можно отнести стекла для оптических квантовых генераторов (лазеров) и фотохромные стекла.

**4.Лазерные стекла.** Лазеры -источники светового излучения, отличающегося высокой монохроматичностью, малой расходимостью светового луча, необычно высокой плотностью энергии излучения. Лазерные стекла используют в качестве активных сред оптических генераторов. Лазерное излучение возникает под воздействием мощного импульсного возбуждающего излучения, поглощение которого обусловлено возбуждением электронов и их переходом с уровня основного состояния на уровень возбужденного состояния. Дальнейшее накопление и переходы электронов на более низкоэнергетические уровни сопровождается появлением наведенного излучения в виде лазерного луча, в качестве стекол для лазеров могут использоваться бариевокремниевые стекла, активированные оксидом неодима. Один из применяемых составов, %:  $\text{SiO}_2$  - 59; BaO - 25;  $\text{K}_2\text{O}$  - 15;  $\text{Sb}_2\text{O}_3$  - 1,0;  $\text{Nd}_2\text{O}_3$  - по 10,5 (сверх 100%). Могут быть также использованы боросиликатные и фосфатные стекла. Эффект лазерного излучения может быть также получен при использовании в качестве активаторов других оксидов редкоземельных элементов: тербия Tb, гольмия Ho, эрбия Er и других. Наиболее широко применяется оксид неодима, т.к. он позволяет получить лазерный эффект при комнатной температуре с высокой мощностью выходного излучения.

Сырьевые материалы для лазерных стекол должны иметь высокую степень чистоты, т.к. присутствие в стекле посторонних примесей, особенно, оксидов железа, кобальта, никеля, приво-

дит к ослаблению лазерного эффекта, снижению мощности излучения.

Варку силикатных стекол для лазеров ведут в платиновых тиглях или кварцевых горшках с последующей отливкой в блок и разрезанием блока на заготовки определенных размеров. Стекланные активные элементы для лазерных устройств можно также получать в виде тонких волокон диаметром 10-20 мкм или массивных стержней диаметром 30 мм и длиной по 2 м.

Требования по однородности лазерных стекол сравнимы с требованиями к изделиям для астрономической оптики: изменение показателя преломления по объему активного стержня не должно превышать  $2 \cdot 10^{-4}$ . Стекланные лазерные элементы имеют ряд преимуществ по сравнению с кристаллическими: сравнительно простой технологией получения изделий высокого оптического качества, возможностью получения элементов любой геометрической формы и размеров; высокой концентрацией активного компонента и, как следствие, высокой выходной мощностью излучения в сочетании с возможностью изменения в широких пределах генерационных, люминесцентных, теплофизических, оптических и других свойств путем изменения состава.

**Фотохромные стекла** принадлежат к классу светочувствительных стекол, т.е. стекол, способных изменять спектральные характеристики при воздействии излучений оптического диапазона, в первую очередь, ультрафиолетовых лучей. Отличительная особенность фотохромных стекол - обратимое изменение светопропускания при циклическом воздействии светового излучения. В момент воздействия активного излучения фотохромное стекло постепенно темнеет, оптическая плотность становится максимальной (пропускание - минимальным) через 2 мин. После прекращения действия активного излучения прозрачность стекла самопроизвольно возвращается в исходное состояние. Фотохромные стекла применяют в качестве солнцезащитных фильтров, включая солнцезащитные очковые линзы (очки типа «хамелеон» темнеют при ярком солнечном свете и просветляются при рассеянном дневном свете). Перспективно использование фотохромных стекол в качестве светофильтров с переменным управляемым светопропусканием, а также в качестве регистрирующего материала для голографической записи информации.

Типичный состав фотохромного стекла включает следующие компоненты, %:  $\text{SiO}_2$  - 60,5;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  - 9,5%,  $\text{V}_2\text{O}_5$  - 20,0;  $\text{Na}_2\text{O}$  - 10,0; в качестве активных компонентов используются соединения серебра и галогенов: Ag - 0,4; Br - 0,17; Cl - 0,1; Fe - 0,84; CuO - 0,016. Пределы изменения концентраций основных и активных компонентов весьма широки: содержание  $\text{SiO}_2$  например, может изменяться (в %) от 40 до 76,  $\text{V}_2\text{O}_5$  - от 4 до 26;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  - от 4 до 26,  $\text{Me}_2\text{O}$  ( $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ) от 2 до 30 и т.д.

Технология получения фотохромных стекол должна учитывать присутствие в шихте и расплаве легколетучих компонентов, в связи с чем температурные условия варки, режим перемешивания расплава должны подбираться особенно тщательно. При составлении шихты используют чистые материалы. Для введения в состав стекла серебра используют нитрат или хлорид серебра. Галогены

вводят в виде галогенидов щелочных металлов - NaCl, KBr и др. В большинстве случаев эффект фотохромизма постигается после дополнительной термической обработки вблизи температуры размягчения, когда происходит формирование и выделение светочувствительной фазы.

### **Выполнение работы**

**Цель:** 1. Изучить теоретические материалы получения стекла с защитными и специальными характеристиками

**Задание:** 1. Освоить понятие «Стекла с защитными и специальными характеристиками»

2. Композиции для получения защитных стекол 3. Изучить технологию получения защитных стекол

Оборудование: весы аналитические (точность 0,01 г), мельница шаровая активаторного типа, пресс лабораторный усилием 4 т. , муфельная печь с температурой не менее 1200 °С

### **Порядок выполнения работы.**

По заданию преподавателя подготовить шихту, измельчить в шаровой мельнице активаторного типа, на кварцевое нанести ровным слоем шихту и поместить в муфельную печь для расплавления шихты. После охлаждения полученные образцы (для фотохромных стекол) визуально испытать на качественное изменение светопоглощения в затемненном помещении и при облучении светом настольной лампы.

### **Контрольные вопросы**

1. Применение изделия из стекол с защитными характеристиками.
2. Технология производства многосвинцовых стекол
3. Стекла для атомной техники, состав, технология получения
4. Лазерные стекла, состав, технология получения
5. Фотохромные стекла, состав, технология получения
6. Оборудование для проведения лабораторной работы
7. Порядок выполнения работы
8. Качественные характеристики полученного стекла

## Лабораторная работа №7 Керметы, производство, применение

### Теоретическая часть

1. Керметы — это композиционные металлокерамические материалы, представляющие собой гетерогенную композицию одной или нескольких керамических фаз с металлами или сплавами с малой взаимной растворимостью, получаемые спеканием металлических и керамических порошков. Они имеют кристаллическую структуру, в которой дисперсные кристаллы керамики, составляющей до 90 % общего объема, заключены в металлическую матрицу. Керметы сочетают свойства керамик (высокие твердость и сопротивление износу, тугоплавкость, жаропрочность и др.) и металлов (теплопроводность, пластичность.)

На свойства керметов влияют свойства дисперсной фазы и матрицы, а также их объемное соотношение и адгезия между ними. Прочность связи на межфазной границе можно регулировать в широких пределах при получении керметов за счет введения в расплавленный металл адгезионно-активных добавок.

2. В качестве керамической составляющей используются оксиды Al, Be, Mg, Zr, Th, U, карбиды W, Ti, Ta, Nb, Cr, бориды Zr, Ti в качестве металлической составляющей — металлы Cr, Ni, Al, Fe, Co, Ti. Zr и сплавы на их основе. Металлическая матрица в керметах объединяет твердые керамические частицы в единый композиционный материал, обеспечивая изделиям необходимую прочность.

Керметы изготавливают методами порошковой металлургии — прессованием, твердофазным и жидкофазным спеканием, пропиткой, экструзией, горячим прессованием, прокаткой и др.

### 3. Классификация керметов

По природе керамической фазы керметы делят на:

- оксидные ( $Al_2O_3$ ,  $Cr_2O_3$ ,  $Si_2O_3$ ,  $CrO_2$ );
- карбидные ( $AlC$ ,  $Cr_3C_2$ ,  $TiC$ );
- нитридные ( $TiN$ );
- боридные ( $Cr_2B_2$ ,  $TiB_2$ ,  $ZrB_2$ );
- керметы на основе силицидов ( $MoSi$ ) и других тугоплавких соединений и др.

По назначению различают следующие виды керметов:

- высокотемпературные керметы, используемые для изготовления деталей газовых турбин, арматуры электропечей, в ракетной технике ( $Al_2O_3$  — Cr;  $Al_2O_3, ThO_2$  — Cr, Mo;  $Al_2O_3$ —W, Cr);
- твердые, износостойкие керметы, используемые для изготовления деталей, работающих на износ или в качестве режущих инструментов (материалы на основе карбидов и нитридов W, Ti, Ta, Nb в сочетании с Co и другими металлами);

4. Получают керметы путем спекания при высоком давлении мелкодисперсных порошков WC и Co с размером частиц около 1 мкм. Температура спекания 1400 °С, что намного меньше температуры плавления WC, которая составляет 2600 °С, и даже ниже, чем температура плавления Co, равная 1492 °С.

При нагревании композиции карбид вольфрама диффундирует в кобальт, который при этом переходит в жидкое состояние и растворяет его. При спекании объем материала уменьшается на 50 %. Образование кристаллов карбида вольфрама происходит в результате расслоения системы при медленном охлаждении и отверждении, поскольку в твердом состоянии карбид вольфрама нерастворим в кобальте.

#### 5. Применение керметов

Керметы, используемые в специальных областях техники — в атомных реакторах (тепловыделяющие элементы и другие детали из композиций  $UO_2$  — Al,  $MgO$  — Ni,  $Al_2O_3$  — Cr), в электротехнике ( $ThO_2$  — Mo,  $ThO_2$  — W — для усиления эмиссионной способности катодов и др.), в тормозных устройствах (фрикционные материалы, содержащие металлические и керамические компоненты).

Наиболее широко используются керметы второй группы — твердые, износостойкие материалы на основе карбида вольфрама WC и кобальта Co.

Карбид вольфрама — твердая хрупкая керамика, а кобальт — ковкий пластичный металл, между ними существуют прочные адгезионные связи. Такая структура повышает на порядок величину энергии разрушения композита по сравнению с карбидом вольфрама и обеспечивает материалу необходимую пластичность. Керметы обладают исключительной твердостью при достаточно высокой ударной вязкости, делающей их нехрупкими. У них высокое сопротивление термическому удару, и что особенно важно, эти материалы сохраняют неизменными свои свойства в широком интервале температур.

Керметы широко используются для изготовления режущего инструмента. При обработке чугуна и сплавов цветных металлов используют керметы на основе WC и Co, для высокоскоростного резания сталей (со скоростью резания до 300 м/мин) применяют керметы на основе кобальта и карбидов титана, тантала и молибдена. Керметы типа металл—тугоплавкое соединение используют также в качестве фрикционных, антифрикционных, конструкционных, огнеупорных, износостойких, эрозионностойких и абразивных материалов. В электро- и радиотехнике для изготовления тонкопленочных резисторов используются керметные пленки на основе композиции Cr-SiO<sub>2</sub>, изготавливаемые методом термического испарения и конденсации в вакууме с последующей термообработкой для стабилизации свойств.

Керметы применяют для изготовления деталей турбин, авиационных двигателей, фрикционных элементов, инструментов и других деталей, испытывающих повышенные нагрузки при

работе в агрессивных средах и при высоких температурах. В частности, важной областью применения керметов является производство из них лопаток газовых турбин. Увеличение массы кермета на основе TiC и Ni после нагревания в течение 100 ч при 1000 °С составляет всего 1,43 мг/см<sup>2</sup> поверхности изделия.

Керметы, являющиеся одним из композиционных материалов сложного состава на основе керамик и металлов и обладающие ценными эксплуатационными свойствами, широко используются в различных областях промышленности.

### **Выполнение работы**

**Цель:** 1. Изучить теоретические материалы получения керметов и экспериментально получить кермет.

**Задание:** 1. Освоить понятие «керметов» 2. Композиции для получения керметов 3. Изучить технологию получения керметов.

Оборудование: весы аналитические (точность 0,01 г), мельница шаровая активаторного типа, пресс лабораторный усилием 4 т. , муфельная печь с температурой не менее 1200 °С, разрывная машина для испытания на сжатие и изгиб

### **Порядок выполнения работы.**

По заданию преподавателя подготовить шихту, измельчить в шаровой мельнице активаторного типа, спрессовать образцы: а) для испытание на сжатие, б) для испытания на изгиб, образцы поместить в муфельную печь и провести спекание ситалла. После охлаждения полученные образцы испытать на сжатие и изгиб.

Предел прочности на сжатие (МПа) рассчитывается по формуле:  $\sigma_{сж} = P/10 \cdot S$ , где  $P$  – усилие, соответствующее разрушению образца, Н;  $S$  – первоначальная площадь поперечного сечения образца, см<sup>2</sup>.

Предел прочности при изгибе (МПа) определяется по формуле:  $\sigma_{изг} = \frac{3P_{изг}l}{20bh^2}$ ,

где  $P_{изг}$  – изгибающая нагрузка в момент разрушения, Н;  $l$  – длина образца, см;  $b$  – толщина образца, см;  $h$  – ширина образца, см.

### **Контрольные вопросы**

1. Керметы
2. Керамическая составляющая керметов
3. Классификация керметов
4. Получение керметов
5. Применение керметов
6. Оборудование для проведения лабораторной работы
7. Порядок выполнения работы
8. Формулы для определения  $\sigma_{сж}$  ;  $\sigma_{изг}$

Теоретическая часть

За сравнительно короткий период со времени открытия металлических стёкол, пройден путь от лабораторного феномена до материалов, на получение которых направлен ряд фундаментальных исследований. Такие материалы изготавливаются закалкой из расплава и переводом в аморфное *наноструктурное* состояние при скоростях охлаждения порядка  $10^6$  К/с.

Аморфное состояние твёрдого тела - одна из наименее изученных областей конденсированного состояния вещества. В общем, его можно определить, как состояние с отсутствием дальнего порядка, при сохранении ближнего порядка - сохранением корреляций атомов на нескольких (двух-трёх) координационных сферах.

Таким образом, аморфное состояние твёрдого тела, в частности, металлических стёкол, полученных переохлаждением расплава, в значительной степени отражает структуру жидкости. Поэтому, в основе описания их структуры должны быть учтены флуктуации плотности, локального окружения и химического состава. Это вносит в характер описания структуры вероятностный и статистический характер.

Металлические стёкла обычно изготавливаются в виде ленты или проволоки. Такого типа нитевидные материалы обладают высокой прочностью и могут найти применение в качестве армирующих элементов в композиционных системах. В ферромагнитных стёклах отсутствие кристалличности обычно сопровождается отсутствием магнитно-кристаллической анизотропии. Такие стёкла легко намагничиваются и в то же время обладают высокой твёрдостью, что является необычным сочетанием свойств. Кроме того, металлические стёкла обладают высокой коррозионной стойкостью и усталостной долговечностью, что характерно для материалов с гомогенной структурой, Указанные выше и другие потенциальные свойства металлических стёкол обуславливают повышенный интерес к ним, как к технологическим и конструкционным материалам.

Для получения металлических стёкол преимущественно используются системы, содержащие переходные (Mn, Fe, Co, Ni) и другие металлы (Pd, Au, Pt), в сочетании с неметаллами III..V групп периодической системы (B, C, Si, vsРидр.) в различных сочетаниях, например Ре-Р-СилиБе-М-В-Р.

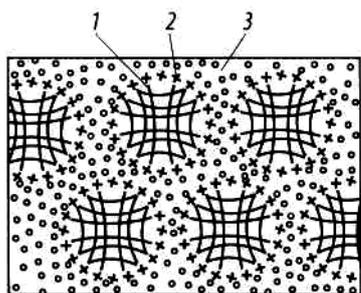


Рис. 1 Структурная модель аморфно-кристаллического состояния, сформировавшегося в процессе образования металлического стекла из расплава. 1 - нанокристаллы; 2 - переходная область; 3 - аморфная фаза

Некоторые особенности наноструктуры металлических стёкол. Развитие представлений о

структуре металлических стёкол происходило на основе использования различных моделей (квазижидкостных, микрокристаллических, некристаллографических и др.). В настоящее время ещё нет единой структурной модели для металлических стёкол, но имеются определённые результаты исследований, позволяющих характеризовать состояние металлических стёкол как наноструктурное.

Важная особенность, присущая структуре всех аморфных сплавов, состоит в том, что атомный ансамбль обладает выраженным в той или иной степени ближним порядком. Обычно, структурный элемент содержит небольшое (не более 10) число атомов, расположенных в двух-трёх координационных сферах и характеризующихся весьма прочными (металлическими и ковалентными) межатомными связями. В этой связи можно говорить о наличии в структуре металлических *нанокластеров* с наномасштабными размерами (менее 10 нм). Для большинства аморфных систем типа металл - металл и металл - металлоид кластерная модель, в общем, даёт корректное описание структуры.

В рамках нанокристаллической модели строения металлических стёкол, нанокристаллы являются структурными элементами, заполняющими весь объём твёрдого тела (аморфное состояние, по существу, идентично нанокристаллическому) или заполняющими только его часть, наряду с жидкоподобным состоянием, (по существу *аморф-но-нанокристаллическое* состояние).

Формирующиеся в процессе получения металлических стёкол аморф-но-нанокристаллические структуры, можно описать с помощью следующей структурной модели (рис. 1). Нанокристаллы, размером 8-10 нм, образующие однородный конгломерат в аморфной матрице, характеризуются плавно меняющейся степенью кристаллического порядка:

в центральной части каждого нанокристаллита, сформировавшейся при сравнительно высокой температуре расплава, имеется кристаллическая структура, которая по мере приближения к периферии, сформировавшейся при существенно более низкой температуре расплава, постепенно переходит в аморфное состояние. При этом аморфные прослойки не имеют чётких межфазных границ с нанокристаллической фазой. Следует отметить, что подобное структурное состояние характеризуется аномально высокой прочностью, существенно превосходящей прочность аморфного или кристаллического состояний, получаемых при более высоких или более низких скоростях охлаждения расплава.

**Способы получения металлических стёкол.** Большинство известных в настоящее время металлических стёкол можно получить закалкой соответствующих расплавов только при достаточно высоких скоростях охлаждения (например  $10^5$  К/с и выше). При этом, способ охлаждения должен обеспечивать высокий коэффициент теплопередачи на границе раздела между расплавом и охлаждающей средой и достаточно тонкое сечение металла, чтобы тепло отводилось за короткий промежуток времени. Обычно используются твёрдые металличе-

ские охлаждаемые поверхности; расплавленный металл растекается по такой поверхности тонким слоем и быстро затвердевает.

Существует ряд способов получения металлических стёкол, которые можно разделить на *дискретные* (получение отдельных образцов) и *непрерывные* (получение непрерывных лент или нитей). Примером дискретных способов получения изделий может служить способ расплющивания капли («молота и наковальни»), при котором капля расплющивается в фольгу и закаливается между двумя металлическими пластинами. Однако, дискретные способы непроизводительны и не позволяют получать однородные по форме и структуре образцы.

Непрерывные способы получения металлических стёкол связаны не только с непрерывностью технологического процесса, но и с возможностью воспроизведения и контроля физико-химических свойств. Первым из непрерывных способов был освоен способ получения узкой полоски или ленты металлического стекла прокаткой между двумя охлаждаемыми валками.

Другой, достаточно распространённый способ известен как способ «спиннингования» расплава. Струя расплава металла направляется на внутреннюю охлаждаемую поверхность обода центрифуги.

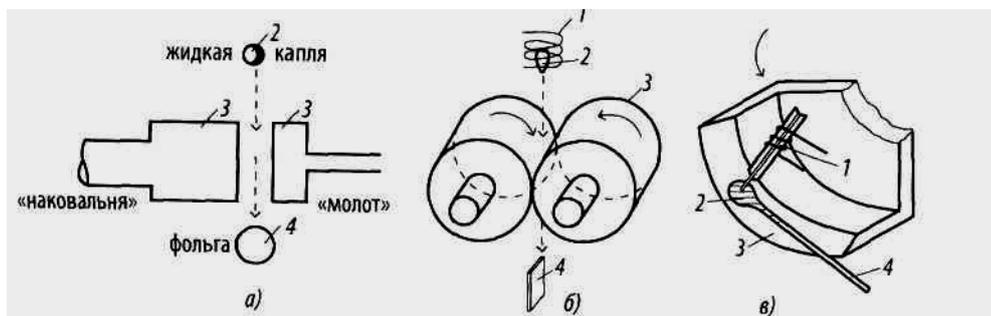


Рис. 2. Способы получения металлических стёкол:

а) расплющивания капли; б) прокатывания между валками; в) «спиннингования» на ободу центрифуги. 1 - нагреватель; 2 - расплав; 3 - формующие охлаждаемые элементы устройства; 4 - изделия из металлического стекла (образцы, лента)

При способе подачи струи расплава металла на движущуюся охлаждаемую поверхность, струя попадает на поверхность, например, вращающегося диска, «успокаивается» и затвердевает, образуя ленту.

Схемы вышеупомянутых способов получения металлических стёкол представлены на рис.1 и рис. 2.

В расплаве металла, соприкоснувшимся с движущейся поверхностью происходят сложные гидродинамические и термические процессы.

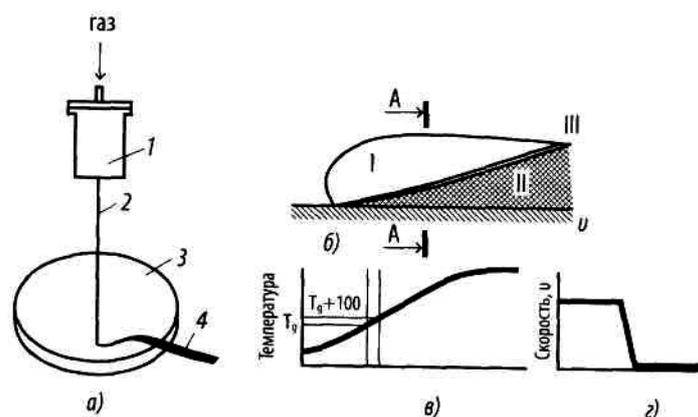


Рис. 3 Схемы получения металлического стекла с помощью диска (а), затвердевания расплава (б), распределения температуры (в) и скорости (г) при затвердевании расплава на диске. 7 - расплав; 2 - струя расплава; 3 - формующая охлаждаемая поверхность (диск); 4 – лента металлического стекла. I - расплав металла; II - затвердевший металл; III - переходный слой

Однако, выводы о ходе технологического процесса можно сделать на основе упрощенного анализа явлений переноса тепла и количества движения.

Объем порции расплава (капли), соприкоснувшейся с поверхностью диска можно разделить на зону контакта, в которой сильно проявляется термическое и динамическое влияние охлаждающей поверхности и бесконтактную зону, в которую это влияние ещё не проникло.

Существует два возможных предельных режима при формировании ленты.

1. Скорость передачи тепла значительно выше скорости переноса количества движения. Затвердевание начинается на участке первого соприкосновения струи с движущейся охлаждаемой поверхностью диска, при этом затвердевший слой перемещается со скоростью, равной скорости вращения диска. У границы затвердевшего слоя с расплавом возникает узкая переходная область с резким падением скорости; ширина этой области зависит от изменения температуры и вязкости. Контактная и бесконтактная зоны металла охлаждаются примерно с одинаковой скоростью, однако в последней имеет место небольшой перенос количества движения (рис. 3, б, в, г).

2. Скорость переноса количества движения значительно выше скорости переноса тепла. В этом случае из капли расплава «вытягивается» жидкий слой, затвердевающий с запаздыванием. При этом градиент скорости непрерывно изменяется по сечению капли.

По характеристикам явлений переноса тепла и количества движения можно определить значение преобладающего фактора и соответствующим образом отрегулировать режим технологического процесса.

## Выполнение работы

**Цель:** 1. Изучить теоретические материалы получения металлических стекол

**Задание:** 1. Освоить понятие «металлические стекла»

2. Композиции для получения металлических стекол.
3. Изучить технологию получения металлических стекол
4. Структурная модель аморфно-кристаллического состояния, сформировавшегося в процессе образования металлического стекла из расплава
5. Способы получения металлических стёкол:
  - а) расплющивания капли; б) прокатывания между валками; в) «спиннингования» на ободу центрифуги
6. Схемы получения металлического стекла с помощью диска (а), затвердевания расплава (б), распределения температуры (в) и скорости (г) при затвердевании расплава на диске.

## Контрольные вопросы

1. Понятие «металлические стекла»
2. Композиции для получения металлических стекол.
3. Структурная модель аморфно-кристаллического состояния
4. Представить схему способов получения металлических стёкол:
  - а) расплющивания капли; б) прокатывания между валками; в) «спиннингования» на ободу центрифуги
6. Представить схемы получения металлического стекла с помощью диска (а), затвердевания расплава (б), распределения температуры (в) и скорости (г) при затвердевании расплава на диске.

## Лабораторная работа №9 Ситаллы

### Теоретическая часть

1. Материалами, близкими по составу к стеклу, но отличающимися от него структурой, являются ситаллы, представляющие собой неорганические полимеры, получаемые кристаллизацией стекол различного состава, протекающей во всем объеме отформованного изделия.

Ситаллы получают из стеклообразной массы с добавлением зародышей образования кристаллов — центров кристаллизации. Сырьем для производства ситаллов являются дешевые материалы — различные оксиды, используемые при производстве стекла, а также базальт (горная порода, природный минерал) и отходы металлургического производства — доменные шлаки. Соответственно различают **технические ситаллы** на основе искусственно созданных композиций, **петроситаллы** на основе горных пород и **шлакоситаллы** на основе шлаков. В отличие от стекол ситаллы имеют многофазную структуру, включающую поликристаллическую и аморфную фазы. Содержание поликристаллической фазы (60—95 %) регулируется составом шихты, типом катализатора кристаллизации и технологией производства. Размер кристаллов равен 1—2 мкм.

В качестве зародышей кристаллизации применяют металлы, оксиды, фториды, сульфиды металлов и ряд других веществ.

2. Процесс производства ситаллов состоит из следующих стадий:

- подготовки шихты;
- плавления шихты;
- формования изделий из расплава;
- охлаждения изделий в форме до температуры кристаллизации катализаторов (процесс образования центров кристаллизации начинается при температуре 800 °С);
- кристаллизации катализаторов, которая проводится в течение одного часа;
- медленного нагревания массы до 1200 °С, при котором происходит ее кристаллизация в течение 4 ч;
- охлаждения полученного изделия до комнатной температуры.

3. Физический процесс образования кристаллического материала происходит по схеме: плавление — расслоение — кристаллизация. Необходимым условием образования ситаллов является наличие следующих факторов: способности расплава к расслоению, высокой склонности к кристаллизации у одной из фаз, образующихся в процессе расслоения, и склонности к стеклованию у другой фазы. Присутствие катализаторов кристаллизации ускоряет расслоение фаз и образование кристаллов. Механические свойства ситаллов определяются их структурой: соотношением объемов кристаллической и аморфной фаз, размерами кристаллов, взаимным распределением фаз. Структура ситаллов всегда однородна, а пористость отсутствует.

4. Ситаллы обладают чрезвычайно высокими прочностными свойствами при сжатии и изгибе (табл. 1), низкой плотностью, высокой теплостойкостью и морозостойкостью, устой-

чивостью к воздействию кислот и щелочей, низким температурным коэффициентом линейного расширения.

Таблица 1. Механические свойства ситалла СТЛ-10

Вид нагружения	Модуль упругости, ГПа	Коэффициент Пуассона	Предел прочности, МПа
Растяжение	88,5	0,21	56,9
Изгиб	88,7	0,25	157,0
Сжатие	104,0	0,25	1500

Прочность ситаллов на изгиб приближается к прочности чугуна, но они легче чугуна в 3 раза; сопротивление истиранию ситаллов в 4—8 раз выше, чем у каменного литья, в 20—30 раз выше, чем у гранита, и в 35 раз выше, чем у фарфора. Удельная работа разрушения ситаллов при сжатии, как видно из данных рис.1, в несколько раз выше, чем у стали. Ситаллы сохраняют свои прочностные свойства вплоть до температуры 600—800 °С (рис.2).

Эти свойства определяют области применения ситаллов. Их используют в качестве облицовочных панелей и труб для химического оборудования, из них делают электроизоляторы, мелющие тела для шаровых мельниц, подшипники, лопасти компрессоров газовых турбин, детали электронного и оптического оборудования, фильтры для экструзии полимеров и другие изделия.

Разработаны технологии производства прозрачных ситаллов на основе оксидов бора, фосфата и кремния. Эти материалы обладают исключительной химической стойкостью и высокими диэлектрическими свойствами. Прозрачные ситаллы используются для изготовления элементов астрономических зеркал, лазерных гироскопов систем ориентации летательных аппаратов, при изготовлении СВЧ-печей и для других целей.

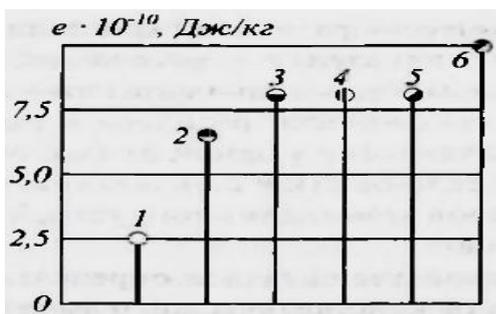


Рисунок 1. Диаграмма удельной работы разрушения при сжатии ( $e$ ) различных материалов: 1 — стали; 2 — стекла; 3—6 — ситаллов разных марок

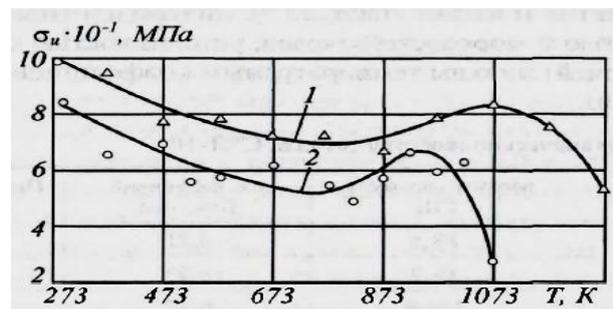


Рисунок 2. Влияние температуры ( $T$ ) на прочность при изгибе ( $\sigma_{изг}$ ): 1 — шлакоситалла 495; 2 — шлакоситалла 2

Аморфно-кристаллические и кристаллические ситаллы с плотностью 1,0—1,2 г/см<sup>3</sup> и с температурным коэффициентом линейного расширения около  $1 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$  используются

при изготовлении биоимплантов. Кристаллические ситаллы применяются в производстве светофильтров с интегральным светопропусканием до 90 % и термостойкостью до 700 °С.

### **Выполнение работы**

**Цель:** 1. Изучить теоретические материалы получения ситаллов и экспериментально получить ситалл.

**Задание:** 1. Освоить понятие «ситаллы» 2. Композиции для получения ситаллов 3. Изучить технологию получения ситаллов

Оборудование: весы аналитические (точность 0,01 г), мельница шаровая активаторного типа, пресс лабораторный усилием 4 т. , муфельная печь с температурой не менее 1200 °С, разрывная машина для испытания на сжатие и изгиб

### **Порядок выполнения работы.**

По заданию преподавателя подготовить шихту, измельчить в шаровой мельнице активаторного типа, спрессовать образцы: а) для испытание на сжатие, б) для испытания на изгиб, образцы поместить в муфельную печь и провести спекание ситалла. После охлаждения полученные образцы испытать на сжатие и изгиб.

**Предел прочности на сжатие** (МПа) рассчитывается по формуле:

$$\sigma_{сж} = P/10 \cdot S,$$

где  $P$  – усилие, соответствующее разрушению образца, Н;  $S$  – первоначальная площадь поперечного сечения образца, см<sup>2</sup>.

**Предел прочности при изгибе** (МПа) определяется по формуле:

$$\sigma_{изг} = \frac{3P_{изг}l}{20bh^2},$$

где  $P_{изг}$  – изгибающая нагрузка в момент разрушения, Н;  $l$  – длина образца, см;  $b$  – толщина образца, см;  $h$  – ширина образца, см.

### **Контрольные вопросы:**

1. Структура ситаллов.
2. Производство ситаллов
3. Физический процесс образования кристаллического материала
4. Свойства и области применения ситаллов.
5. Удельная работа разрушения при сжатии
6. Влияние температуры на прочность ситаллов при изгибе.
7. Оборудование для получения ситаллов
8. Порядок выполнения работы
9. Формулы для определения  $\sigma_{сж}$  ;  $\sigma_{изг}$



## Библиографический список

1. Покрытия различного назначения для металлических материалов: Учебное пособие / А.А.Ильин, Г.Б.Строганов, С.В.Скворцова - М.: Альфа-М: НИЦ ИНФРА-М, 2013 - 144 с: ил.; 60x90 1/16. - (Совр. технол.: Магистратура), (п) ISBN 978-5-98281-355-8, 522 экз. <http://znanium.com/bookread2.php?book=539831>
2. Теория и технология формирования неорганических покрытий: Монография / Г.В. Бобров, А.А. Ильин, В.С. Спектор. – М.: Альфа-М, 2014. – 928 с: ил.; 60x90 1/16. (переплет) ISBN 978-5-98281-407-4, 500 экз. <http://znanium.com/bookread2.php?book=508082>
3. Декоративная обработка поверхности металлов: анодные защитные и декоративные покрытия на поверхности легких конструкционных сплавов [Электронный ресурс] / А.Г. Ракоч, И.В. Бардин, В.Л. Ковалев - М. : МИСиС, 2012. - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785876235602.html>
4. Вакуумная ионно-плазменная обработка: Учебное пособие / А. А. Ильин, В. В. Плихунов, Л.М.: Негров и др. - М.: Альфа-М: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 160 с: ил.; 60x90 1/16. - (Современные технологии: Магистратура), (п) ISBN 978-5-98281-366-4, 1000 экз. <http://znanium.com/bookread2.php?book=508814>
5. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3-х т. Т. 1 [Электронный ресурс, защитные и декоративные покрытия] / В.И. Ануриев - М.: Машиностроение, 2015. - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785990608771.html>
6. Гамбург, Ю.Д. Теория и практика электроосаждения металлов [Электронный ресурс] / Ю.Д. Гамбург, Дж. Зангари ; пер. с англ. Эл. изд. Электрон, текстовые дан. (1 файл pdf :441 с).—М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015.—Систем, требования: Adobe Reader XI : экран 10". - ISBN 978-5-9963-2901- <http://znanium.com/bookread2.php?book=507257>
7. Коррозия и защита материалов: Учебное пособие / А.С. Неверов, ДА. Родченко, МИ Цырлин. -М.: Форум: НИЦ ИНФРА-М, 2015. - 224 с: 60x90 1/16. - (Высшее образование) (обложка) ISBN 978-5-91134-733-8 <http://znanium.com/bookread2.php?book=507257>
8. Производство изделий из полимерных материалов: Учеб. пособие/В.К. Крыжановский, М.Л. Кербер, В.В. Бурлов, А. Д.Паниматченко. — СПб.: Профессия, 2004. — 464 с, ил. ISBN 5-93913-064-X
9. 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
10. 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.

**Техника безопасности при выполнении лабораторных работ**

Для выполнения лабораторных работ допускаются лица, изучившие правила безопасной работы в лабораториях с высокотемпературным оборудованием кафедры.

1. Студенты могут находиться в лабораториях с высокотемпературным оборудованием только в присутствии преподавателя.

2. Работающий в лабораториях с высокотемпературным оборудованием должен соблюдать правила пожарной безопасности (инструкция пожарной безопасности кафедры ТФКМ), правила личной гигиены, должен уметь оказывать доврачебную помощь, а в случае травмирования, обнаружения неисправностей, влияющих на безопасность работы, немедленно сообщить заведующему лабораторией или заведующему кафедрой.

3. Перед началом работы студент обязан:

3.1. Включить вентиляцию.

3.2. Проверить наличие и исправность зануления корпуса печи, трансформатора, оборудования, ограждений и пусковых устройств.

3.3. Надеть предусмотренную спецодежду и иметь при себе индивидуальные средства защиты (теплозащитный фартук, теплозащитные рукавицы, щиток лицевой защитный, светопоглощающие очки, респиратор, теплозащитный шлем).

3.4. Подготовить необходимые инструменты и приспособления (тигли, кварцевые подложки, специальные захваты для извлечения тиглей и спеченных изделий из высокотемпературной печи)

4. При неподготовленности рабочего места - к работе не приступать.

5. Во время работы в лабораториях с высокотемпературным оборудованием работающий обязан:

5.1. Выполнять только порученную работу.

5.2. Не отвлекаться и не отвлекать других.

5.3. По всем вопросам, возникающим в ходе работы, обращаться к преподавателю или инженеру.

6. При составлении шихты для варки стекол и изготовления стекла, керамических и ситалловых изделий нужно знать, что работы, связанные с измельчением (дробление, помол, растирание) материалов, содержащих оксиды кремния, титана, кадмия, свинца, алюминия и др., проводить с принятием всех мер предосторожности (респиратор, очки, перчатки), так как пыль и аэрозоли этих веществ являются исключительно опасными, способными вызывать такие заболевания, как силикоз дыхательных путей, интоксикацию организма, а при некоторых условиях могут явиться причиной взрывов и пожаров.

7. При варке стекол, ситаллов, керамики и керметов:

7.1. Строго соблюдать температурные режимы, заданные технологическими параметрами.

7.2. Загрузку и выгрузку тиглей с расплавом, спеченных изделий проводить специальными

щипцами.

7.3. При разогреве, печи открывать только в синих или дымчатых очагах.

7.4. При выгрузке из печи горячие тигли ставить на площадку из несгораемых материалов.

8. При работе на прессах:

8.1. Не допускать утечки масла из гидросистемы пресса в местах присоединения маслопровода.

8.2. Испытание высокопрочных хрупких образцов производить с защитными кожухами.

8.3. В случае неполадок, либо неисправностей пресса, которые могут вызвать повреждение пресса или же угрожают жизни и здоровью обслуживающих, следует немедленно прекратить работу и известить преподавателя, ведущего занятия, зав. лабораториями, зав. кафедрой

8.4. Запрещается смазывать части пресса на ходу.

8.5. Запрещается эксплуатировать пресс при давлении, превышающем указанное на шкале.

8.6. Запрещается производить переключение диапазонов пресса, когда рабочая стрелка си-  
лоизмерителя показывает нагрузку.

9. При возникновении аварийной ситуации работающий обязан прекратить работу, немедленно отключить электропитание с помощью рубильника, предпринять меры к устранению причины возникновения аварийной ситуации, доложить о случившемся преподавателю, заведующему лабораторией или заведующему кафедрой.

10. При несчастных случаях немедленно поставить в известность преподавателя, заведующего лабораториями и заведующего кафедрой, вызвать скорую помощь, и пострадавшего направить в медпункт.

При ранении острыми предметами или стеклом необходимо удалить осколки, выступающие из ран, смазать йодом кожу вокруг раны, наложить стерильную повязку и отправить пострадавшего в медпункт.

При поражении электрическим током, если пострадавший не в состоянии освободиться от его действия, необходимо немедленно отключить ток и освободить пострадавшего. В случае, если пострадавший потерял сознание и не дышит, нужно незамедлительно вызвать врача и до его прибытия сделать искусственное дыхание.

При отравлениях пострадавшего немедленно вывести его на свежий воздух.

При термических и электрических ожогах нельзя касаться руками обожженных участков кожи и вскрывать пузыри.

При небольших по площади ожогах первой и второй степени положить на обожженный участок кожи стерильную повязку.

При тяжелых и обширных ожогах пострадавшего завернуть в ткань, обожженное лицо закрыть стерильной марлей.

При ожогах глаз следует делать холодные примочки из раствора борной кислоты и немедленно направить пострадавшего к врачу.

В случае механического повреждения глаз следует немедленно обратиться к врачу.