

Направление подготовки бакалавров  
«Химическая технология»

# Материаловедение и технология конструкционных материалов



Лихачев Владислав Александрович, к.х.н.,  
доцент



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

# Керамические материалы

Керамические материалы один из самых древних конструкционных материалов, использовавшихся в

пр

ук



1. Посуды,

2. В строительстве



**Посуда и украшения:**

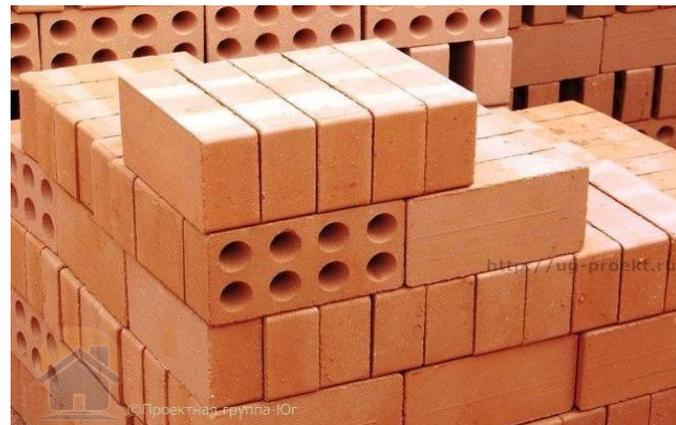
- Гончарная керамика,
- стекло, фарфор, фаянс.



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

# Керамические материалы в строительстве

**1. Кирпич:  
Обычный,  
Шамотный (огнеупорный)  
Дорожный**



**2. Плитка:  
Для стен  
(внутри и  
снаружи),  
Для пола,  
Дорожная.**





ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

# Керамические материалы в строительстве

## 3. Черепица



**Достоинства керамики в  
строительстве:**

- **износостойкость**
- **значительная долговечность,**
- **декоративность многих видов керамики,**
- **распространенность в природе сырьевых материалов.**





ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

# Керамические материалы

- Керамические материалы достаточно сложны как по химическому составу, так и по структуре.
- По химическому составу – это оксиды, карбиды, нитриды, бориды, сульфиды или их смесь.
- По структуре в их составе всегда есть:
  1. кристаллическая составляющая;
  2. аморфная (стекло-фаза);
  3. газовая составляющая (поры в керамике,



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

# Керамические материалы.

## Керамика в современном мире

**В настоящее время керамика относится к основным композиционным материалам, оказывающим определяющее влияние на уровень и конкурентоспособность промышленной продукции**

**Она дополнительно революционно вошла в технику и технологию многих областей техники в 60 годах прошлого века и стала третьим промышленным материалом после металла и полимеров.**

**При постоянном развитии традиционных областей ее применения.**



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

*Керамические материалы имеют два основных недостатка: хрупкость и сложность изготовления деталей и их обработки.*

*В то же время им присущи свойства, которые зачастую отсутствуют у металлов:*

- Жаропрочность;
- Отличная коррозионная стойкость;
- Малая теплопроводность;
- Хорошие оптические свойства.

*Жаропрочность керамики такова, что при температурах порядка  $1000^{\circ}\text{C}$  она прочнее любых сплавов и даже суперсплавов.*



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

*Керамика стала первым конкурентоспособным по сравнению с металлами классом материалов для использования при высоких температурах.*

*Известны следующие виды керамических материалов:*

- Электрокерамика;
- Магнитокерамика;
- Оптокерамика;
- Хемокерамика;
- Биокерамика;
- Термокерамика;
- Механокерамика;
- Ядерная керамика;
- Сверхпроводящая керамика.



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

# Свойства и применение керамических материалов

## Характеристика основных видов керамики

Функциональный тип керамики	Используемые свойства	Применение	Используемые соединения
Электрокерамика	Электропроводность, электроизоляционные, диэлектрические и пьезоэлектрические свойства	Интегральные схемы, конденсаторы, вибраторы, зажигатели, нагреватели, термисторы, транзисторы, фильтры, солнечные батареи, твердые электролиты	BeO, MgO, Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , ZnO, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , ZrO <sub>2</sub> , SiC, B <sub>4</sub> C, TiC, CdS, титанаты, Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>
Магнетокерамика	Магнитные свойства	Головки магнитной записи, магнитные носители, магниты	Магнитно-мягкие и магнитно-твердые ферриты



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

## Виды керамических материалов

### Оптокерамика

Прозрачность, поляризация, флуоресценция

Лампы высокого давления, ИК-прозрачные окна, лазерные материалы, световоды, элементы оптической памяти, экраны дисплеев, модуляторы

$\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  
 $\text{Y}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  
 $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  
 $\text{Y}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ThO}_2$ ,  
 $\text{ZnS}$ ,  $\text{CdS}$

### Хемокерамика

Абсорбционная и адсорбционная способность, каталитическая активность, коррозионная стойкость

Сорбенты, катализаторы и их носители, электроды (например, топливных элементов), датчики влажности газов, элементы химических реакторов

$\text{ZnO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  
 $\text{SnO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  
 $\text{BaS}$ ,  $\text{CeS}$ ,  $\text{TiB}_2$ ,  
 $\text{ZrB}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  
 $\text{SiC}$ , титаниды



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

## Виды керамических материалов

<b>Биокерамика</b>	Биологическая совместимость, стойкость к биокоррозии	Протезы зубов, суставов	Системы оксидов
<b>Термокерамика</b>	Жаропрочность, жаростойкость, огнеупорность, теплопроводность, коэффициент термического расширения (КТР), теплоемкость	Огнеупоры, тепловые трубы, футеровка высокотемпературных реакторов, электроды для металлургии, теплообменники, теплозащита	$\text{SiC}$ , $\text{TiC}$ , $\text{B}_4\text{C}$ , $\text{TiB}_2$ , $\text{ZrB}_2$ , $\text{Si}_3\text{N}_4$ , $\text{BeS}$ , $\text{CeS}$ , $\text{BeO}$ , $\text{MgO}$ , $\text{ZrO}_2$ , $\text{Al}_2\text{O}_3$ , $\text{TiO}_2$ , композиты
<b>Механокерамика</b>	Твердость, прочность, модуль упругости, вязкость разрушения, износостойкость, триботехнические свойства, КТР, термостойкость	Керамика для тепловых двигателей, уплотнительная, антифрикционная и фрикционная керамики, режущий инструмент, пресс-инструмент, направляющие и другие износостойкие детали	$\text{Si}_3\text{N}_4$ , $\text{ZrO}_2$ , $\text{SiC}$ , $\text{TiB}_2$ , $\text{ZnB}_2$ , $\text{TiC}$ , $\text{TiN}$ , $\text{WC}$ , $\text{B}_4\text{C}$ , $\text{Al}_2\text{O}_3$ , $\text{BN}$ , композиты



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

## Виды керамических материалов

Ядерная керамика	Радиационная стойкость, жаропрочность, жаростойкость, сечение захвата нейтронов, огнеупорность, радиоактивность	Ядерное горючее, футеровка реакторов, экранирующие материалы, поглотители излучения, поглотители нейтронов	$UO_2$ , $UO_2-PuO_2$ , $UC$ , $US$ , $ThS$ , $SiC$ , $B_4C$ , $Al_2O_3$ , $BeO$
Сверхпроводящая керамика	Электропроводность	Линии электропередач, МГД-генераторы, накопители энергии, интегральные схемы, железнодорожный транспорт на магнитной подвеске, электромобили	Оксидные системы: $La-Ba-Cu-O$ $La-Sr-Cu-O$ $Y-Ba-Cu-O$



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

*В настоящее время в основном керамика применяется в следующих областях:*

- Изготовление режущего инструмента;
- Детали двигателей (керамические двигатели);
- Специальное назначение:
  - Хранение радиоактивных отходов;
  - Тепловая защита головных частей ракет;
  - Изготовление броневой защиты военной техники и бронежилетов.
  - В связи и компьютерной технике.
  - В строительстве: кирпич, плитки, черепица



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

## Химическое сопротивление керамических материалов

- Одно из достоинств керамических материалов – это **высокая их коррозионная стойкость**. Но эта стойкость конечно не является абсолютной и при взаимодействии с различными жидкими и газообразными средами, особенно при повышенных температурах керамика разрушается.
- Отличие любой керамики даже самой плотной от металлов в том, что в керамике всегда присутствуют поры, в которые и проникают активные жидкости и газы, вступая в химические реакции с составляющими керамики.
- Если сравнить коэффициент водопроницаемости металлов с самой плотной керамикой (стеклами) при 20 С:



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

# Химическое сопротивление керамических материалов

- Поэтому в отличие от металлов взаимодействие активных веществ с керамикой идет не только **на поверхности**, но, в основном, и внутри керамики. И поэтому величина пор и транспортные процессы доставки реагента и отвода продуктов взаимодействия здесь приобретают первостепенное значение.
- Устойчивость керамики прежде всего будет определяться химической устойчивостью соединений входящих в состав керамики и структурой керамики, т.е. ее плотностью и величиной пор.
- Если основой керамического материала является кислотообразующий диоксид кремния  $\text{SiO}_2$ , то такой материал будет обладать высокой химической стойкостью к действию кислот, в том числе концентрированных.



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

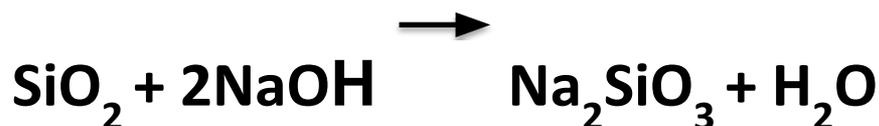
# Химическое сопротивление керамических материалов

- Исключение составляет плавиковая кислота активно разрушающая диоксид кремния:



Ряд материалов, содержащих  $\text{SiO}_2$ , разрушается при воздействии на них кремнефтористоводородной и фосфорной кислоты, но это взаимодействие имеет место при высоких температурах и протекает с меньшей скоростью.

Как кислотный оксид  $\text{SiO}_2$  более активно взаимодействует со щелочами



$\text{Na}_2\text{SiO}_3$  достаточно хорошо растворима в воде, что делает невозможным замедление во времени реакции

взаимодействия



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

# Химическое сопротивление керамических материалов

- В керамических материалах всегда присутствуют силикаты: соединения оксид металла-оксид кремния. Химическая стойкость силикатов растет в ряду:  $Me_2O \cdot SiO_2$   
 $MeO \cdot SiO_2$   $Me_2O_3 \cdot SiO_2$
- Исходя из активности силикатообразующих оксидов силикаты группы  **$MeO \cdot SiO_2$**  располагают по степени возрастания их химической стойкости в следующий ряд:  
 $PbO \cdot SiO_2$   $\rightarrow$   $BaO \cdot SiO_2$   $\leftarrow$   $CaO \cdot SiO_2$   $\leftarrow$   $MgO \cdot SiO_2$   $\leftarrow$   $ZnO \cdot SiO_2$   $FeO$   
 $SiO_2$   $MnO \cdot SiO_2$



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

# Химическое сопротивление керамических материалов

- Керамические материалы к воде обычно **устойчивы**.
- Но поскольку все они пористые материалы и способны в той или иной мере поглощать воду, поэтому применительно к строительной керамике (керамический и дорожный кирпичи, плитки облицовочные и дорожные) вводится понятие **морозостойкости** – т.е. способности керамического материала выдерживать циклы замораживания оттаивания в насыщенном водой состоянии.
- Морозостойкость зависит прежде всего от величины пор и от их открытости или закрытости, т.е. соединяются они друг с другом или разделены слоем керамики. Закрытость или открытость пор влияет на водопоглощение керамического материала, а, сл-но, и на



# Взаимодействие керамических материалов с газами

- Газы, выделяющиеся при проведении различных процессов в металлургии, химии, нефтехимии, ядерной энергетике при повышенных температурах и давлениях оказывают на керамические материалы разрушающее воздействие. К таким газам относятся: пары воды, оксиды углерода, водород, углеводороды, хлор, сероводород.
- Сильнейшее агрессивное действие оказывает монооксид углерода CO. Под его воздействием **восстанавливаются оксиды**, входящие в состав, керамического материала и **выделяется** сажистый углерод, который создает **большие** распирающие усилия в порах огнеупора.





ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

## Взаимодействие керамических материалов с газами

- Сажистый углерод кроме того может взаимодействовать с составляющими керамики, например муллитом ( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ )



Монооксид кремния SiO также приводит к растрескиванию керамического материала.

- Углеводороды, метан, этан и природный газ как и CO могут способствовать выделению сажистого углерода.

Наиболее устойчивы к действию CO и углеводородов являются высокоглиноземистые огнеупоры.

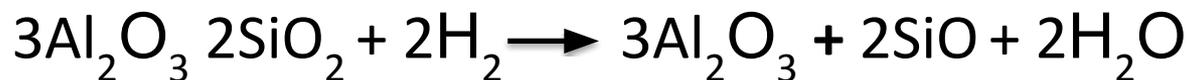
- В среде водорода восстанавливаются многие оксиды  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{SiO}_2$  и др.



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

# Взаимодействие керамических материалов с газами

- Например, **муллит** водород разлагает с образованием корунда и летучего монооксида кремния:



- **Хлор** разрушает многие огнеупоры, так как с большинством тугоплавких оксидов дает легкоплавкие или летучие соединения, плавление или испарение которых вызывает снижение прочности материала.
- К действию **водорода** и **хлора** более устойчивы высокоглиноземистые (с содержанием  $\text{Al}_2\text{O}_3$  85% и более) корундовые огнеупоры.