

# ПОНЯТИЕ О КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ

Композиционный материал

*(композит, КМ)*

*— искусственно созданный неоднородный сплошной материал, состоящий из двух или более компонентов с четкой границей раздела между ними.*

# Характерные признаки КОМПОЗИЦИОННЫХ материалов

- Состав и форма компонентов определены заранее
- Компоненты присутствуют в количествах, обеспечивающих заданные свойства материала
- КМ представляют собой **гетерофазные** системы, получаемые из двух или более компонентов с различными функциями

# Композиционные материалы

## СОСТОЯТ ИЗ:

- матрицы (связующего компонента)
- армирующего элемента  
(*наполнителя, упрочнителя*)
- В композитах конструкционного назначения армирующие элементы обычно обеспечивают необходимые механические характеристики материала (прочность, жесткость и т.д.), а матрица (или связующее) обеспечивает совместную работу армирующих элементов и защиту их от механических повреждений и агрессивной химической среды.

**МАТРИЦА** непрерывна по  
всему объему материала  
**АРМИРУЮЩИЙ ЭЛЕМЕНТ** –  
это прерывный  
(дискретный) компонент,  
разделенный в объеме  
композиции

*Кроме двух основных  
компонентов в состав  
композиционных  
материалов могут  
входить элементы,  
выполняющие другую  
функцию  
(изоляционную,  
защитную и т.д.)*

# Классификация композиционных материалов

- По природе матрицы
- По природе армирующего компонента
- По характеру взаимодействия матрицы и упрочнителя
- По форме элементов упрочнителя
- По конструктивному признаку упрочнителя
- По назначению

**Матричными** материалами могут  
быть *неорганические и*  
*органические вяжущие,*  
*полимеры, керамика, металлы и*  
*их сплавы,*  
находящиеся в *твердом*  
*кристаллическом* или *аморфном*  
**состоянии.**

Матрица придает требуемую форму изделию, влияет на создание свойств композиционного материала, защищает арматуру от механических повреждений и других воздействий среды, обеспечивает **равномерное распределение напряжений по объему материала**

- Матрица должна обеспечить
- **физико-химические** (*теплофизические, механические, электрические и др.*)
- **технологические** (*уровень рабочих температур, характер изменения свойств под воздействием среды и др.*) свойства материала
- Она определяет метод изготовления изделий.

# Виды композиционных материалов



**В качестве армирующих  
(упрочняющих)  
компонентов выступают  
волокнистые или слоистые  
материалы различной  
природы, а также  
тонкодисперсные  
порошкообразные частицы  
или более крупные зерна**

# Структура композиционных материалов (форма элементов упрочнителя)

- По механической структуре композиты делятся на несколько основных классов:
- **волокнистые,**
- **слоистые,**
- **упрочненные частицами**
- **дисперсноупрочненные,**
- **нанокompозиты.**

- *Волокнистые композиты* армируются волокнами или нитевидными кристаллами.
- Величина отношения длины к толщине элемента равна 10 и более.
- Чем больше эта величина, тем выше степень упрочнения материала.
- Обрезки волокон. применяемые для упрочнения – *фибры*.
- *Волокна обычно используют в виде пучков (нити, жгуты)*

- *Даже небольшое содержание наполнителя в композитах такого типа приводит к существенному улучшению механических свойств материала.*
- **Широко варьировать свойства материала позволяет также изменение ориентации, размера и концентрации волокон.**

- В *слоистых композиционных материалах* матрица и наполнитель расположены слоями, как, например, в триплексах, фанере, клееных деревянных конструкциях и слоистых пластиках.
- *Отношение площади элемента упрочнителя к его толщине стремится к бесконечности.*

- **Микроструктура остальных классов композиционных материалов характеризуется тем, что матрицу наполняют частицами армирующего вещества, а различаются они размерами частиц.**
- В композитах, *упрочненных частицами*, их размер больше 1 мкм, а содержание составляет 20-25% (по объему),
- *дисперсноупрочненные* композиты включают в себя от 1 до 15% (по объему) частиц размером от 0,01 до 0,1 мкм.
- Размеры частиц, входящих в состав *нанокompозитов* еще меньше и составляют 10-100 нм.

- Форма элементов упрочнителя влияет на физические свойства композиционных материалов.
- *Материалы с порошкообразными упрочнителями* – изотропны, высокий предел прочности на сжатие
- *Слоистые упрочнители* – анизотропия свойств, высокий предел прочности на изгиб

**В конструкционных композитах** главное - это достижение **высокой удельной прочности** (коэффициента конструктивного качества), **высокой коррозионной стойкости, эксплуатационной надежности и долговечности**

# Прочность композита

слагается из:

- **прочности наполнителя,**
- **прочности матрицы и**
- **прочности контактного слоя – самая важная с точки зрения создания КОМПОЗИТОВ**

Свойства композиционных материалов зависят не только от физико-химических свойств компонентов, но и от прочности связи между ними.

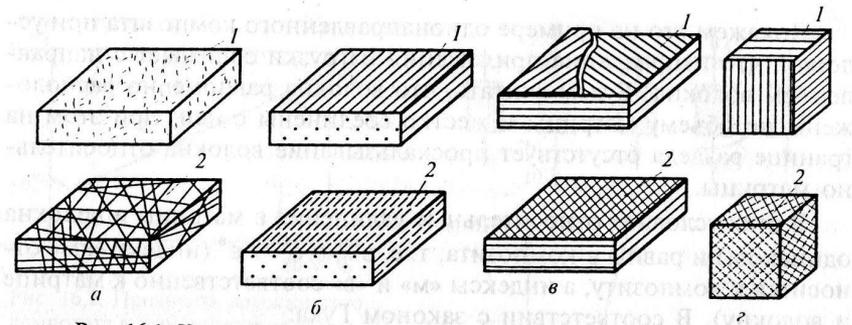
Границы раздела, в первую очередь адгезионное взаимодействие волокна с матрицей, определяют уровень свойств композитов и их постоянство в условиях эксплуатации.

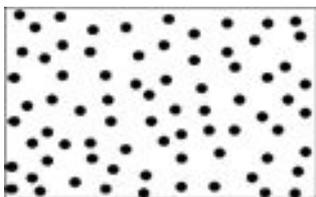
Максимальная прочность достигается, если между матрицей и арматурой происходит образование твердых растворов или химических соединений.

- Большое значение имеет расположение элементов композитного материала, как в направлениях действующих нагрузок, так и по отношению друг к другу, т.е. упорядоченность.
- **Высокопрочные композиты, как правило, имеют высокоупорядоченную структуру.**

# По конструктивному признаку упрочнения

- КМ с хаотическим упрочнением
- Одномерно - армированные
- Двумерно - армированные
- Пространственно — армированные
- *Возможны различные схемы укладки упрочнителя*





Материалы, наполненные порошкообразными частицами

Однонаправленные материалы

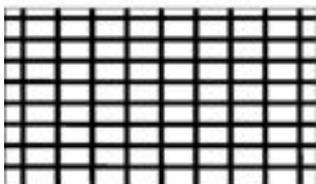


Материалы на основе нитей, жгутов, лент

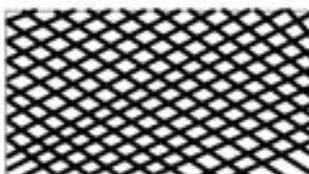


Материалы на основе волокон

Двунаправленные материалы:



Ткани, перекрестно уложенные нити и армированные ими материалы



Плетеные материалы, перекрестно уложенные нити и армированные ими материалы

Материалы с хаотическим расположением волокон / нитей в плоскости:



Нетканые материалы на основе нитей



Бумаги, армированные волокнами пленки

Материалы с хаотическим расположением волокон в объеме:



Материалы, армированные волокнами

Рисунок. Основные схемы расположения дисперсных наполнителей / волокон / нитей в различных видах полимерных материалов

В композиционных материалах разнородные компоненты создают *синергетический эффект* - новое качество материала, отличное от свойств исходных компонентов, т.е. когда «целое больше, чем сумма составных частей»

# Свойства композиционных материалов

- *Сочетание разнородных веществ приводит к созданию нового материала, свойства которого существенно отличаются от свойств каждого из его составляющих.*
- **Признаком композиционного материала является заметное взаимное влияние составных элементов композита , т.е. их новое качество, эффект.**
- **Варьируя состав матрицы и наполнителя, их соотношение, применяя специальные дополнительные реагенты и т.д., получают широкий спектр материалов с требуемым набором свойств.**

# Классификация КМ по назначению

- **Силовые** – имеют высокие механические свойства (бетоны, стеклопластики и др.)
- **Несиловые КМ** - воспринимают незначительные механические нагрузки (пеностекло, пенопласт и др.)
- **КМ специального назначения** (жаростойкие, кислотостойкие, электроизоляционные и др.)

## СВОЙСТВА НЕКОТОРЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

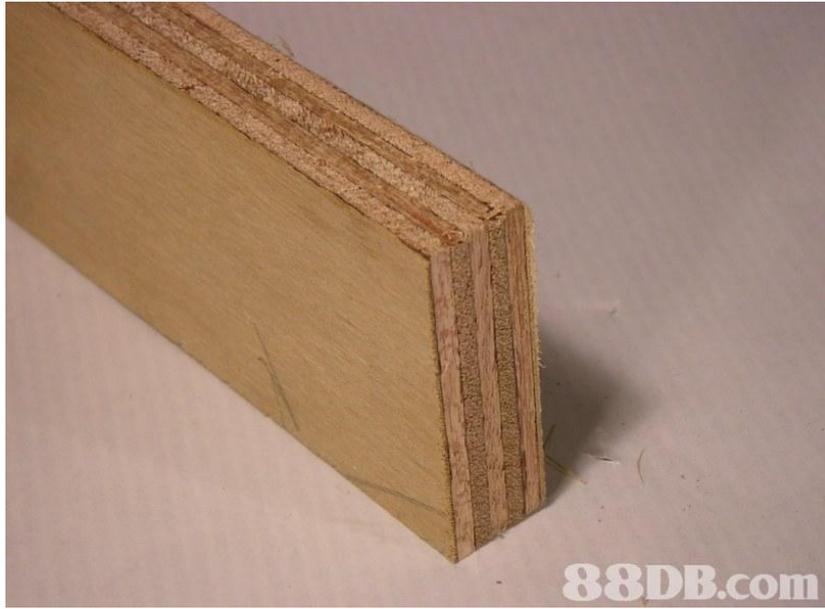
Матрица	Армирующий наполнитель	Плотность, г/см <sup>3</sup>	$\sigma_{\text{взг.}}$ , ГПа	Модуль упругости, ГПа
	<b>Полимерные</b>			
Эпоксидная	Стеклоянное волокно	1,9 2,2	1,2 2,5	50 68
	Органическое (арамидное) волокно	1,3-1,4	1,7 2,5	75 90
	Углеродное волокно	1,4 1,5	0,8 1,5	120 220
	Борное волокно	2,0 2,1	1,0 1,7	220
	<b>Металлические</b>			
Алюминиевая	Борное волокно	2,6	1,0 1,5	220 250
	Углеродное волокно	2,3	0,8-1,0	200-220
Магниева	Борное волокно	2,0	0,7 1,0	200 220
	Углеродное волокно	1,8	0,6 0,8	180 220
Никелевая	Вольфрамовая проволока	12,5	0,8	265
	Молибденовая проволока	9,3	0,7	235
	<b>Углеродные</b>			
Углеродная	Углеродное волокно	1,5 1,8	0,35 1,0*	120 220
	<b>Керамические</b>			
Керамическая	Волокно карбида кремния	3,2	0,48*	

\* Прочность при изгибе.

- **Бетоны** — самые распространенные композиционные материалы.
- В настоящее время производится большая номенклатура бетонов, отличающихся по составам и свойствам.
- Современные бетоны производятся как на традиционных цементных матрицах, так и на полимерных (эпоксидных, полиэфирных, фенолоформальдегидных, акриловых и т.д.). Современные высокоэффективные бетоны по прочности приближаются к металлам.

- **Органопластики** — композиты, в которых наполнителями служат органические синтетические, реже — природные и искусственные волокна в виде жгутов, нитей, тканей, бумаги и т.д.
- В термореактивных органопластках матрицей служат, как правило, эпоксидные, полиэфирные и фенольные смолы.
- Органопластики обладают низкой плотностью, они легче стекло- и углепластиков, обладают относительно высокой прочностью при растяжении; высоким сопротивлением удару и динамическим нагрузкам, но, в то же время, низкой прочностью при сжатии и изгибе.

- К наиболее распространенным органопластикам относятся древесные композиционные материалы: клееные деревянные конструкции, фанеры, древесные пластики, древесностружечные и древесноволокнистые плиты и балки, древесные прессмассы и пресспорошки, термопластичные древесно-полимерные КОМПОЗИТЫ.

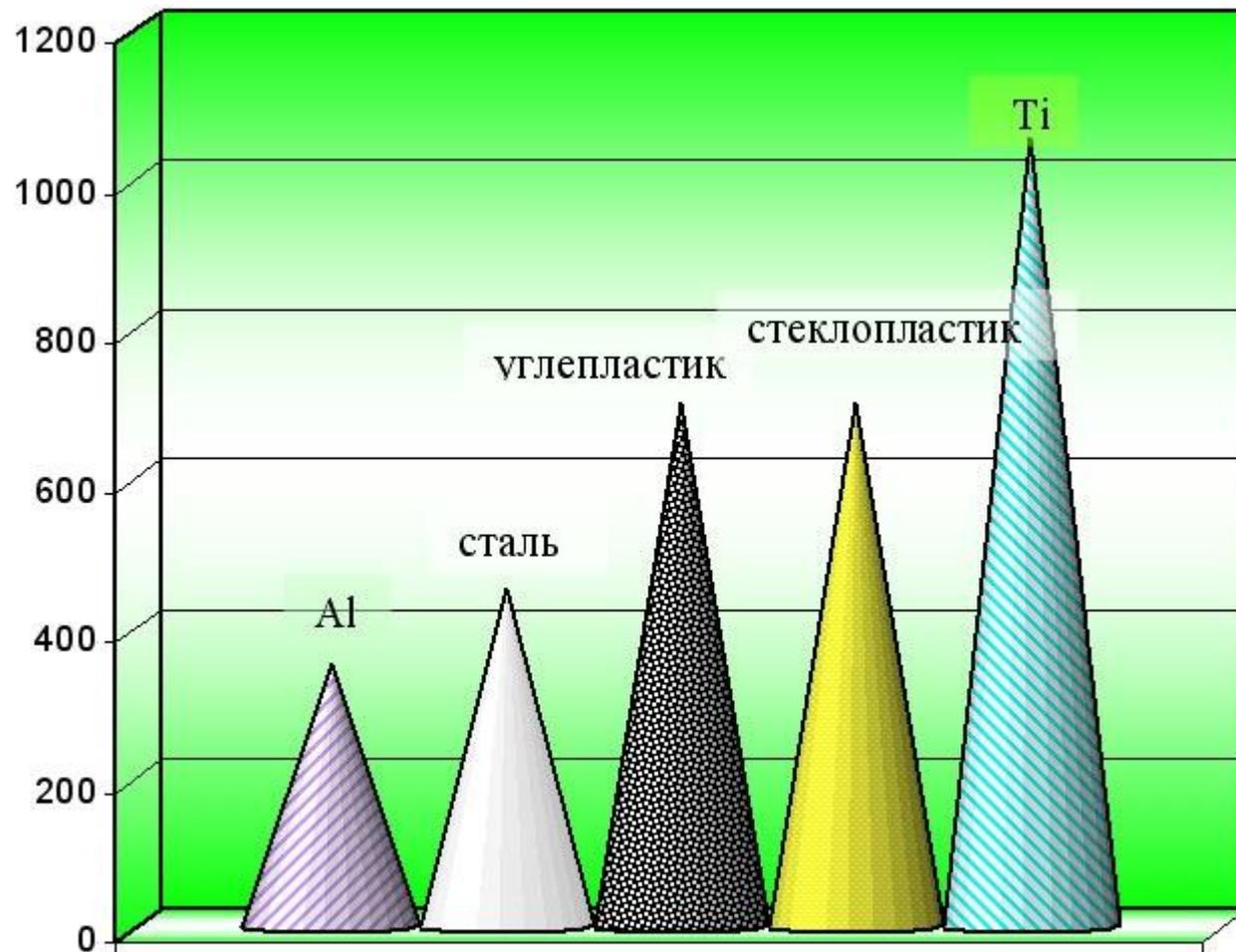


88DB.com



- **Стеклопластики** - полимерные композиционные материалы, армированные стеклянными волокнами, которые формируют из расплавленного неорганического стекла.
- В качестве матрицы чаще всего применяют как терморезактивные синтетические смолы (фенольные, эпоксидные, полиэфирные и т.д.), так и термопластичные полимеры (полиамиды, полиэтилен, полистирол и т.д.).
- Стеклопластики обладают высокой прочностью, низкой теплопроводностью, высокими электроизоляционными свойствами, кроме того, они прозрачны для радиоволн. Слоистый материал, в котором в качестве наполнителя применяется ткань, плетенная из стеклянных волокон, называется **стеклотекстолитом**.

- **Углепластики** - наполнителем в этих полимерных композитах служат углеродные волокна. Углеродные волокна получают из синтетических и природных волокон на основе целлюлозы, сополимеров акрилонитрила, нефтяных и каменноугольных пеков и т.д.
- Матрицами в *углепластиках* могут быть как терморезистивные, так и термопластичные полимеры. *Основными преимуществами углепластиков по сравнению со стеклопластиковыми является их низкая плотность и более высокий модуль упругости, углепластики — очень легкие и, в то же время, прочные материалы.*
- На основе углеродных волокон и углеродной матрицы создают композиционные углеграфитовые материалы — наиболее термостойкие композиционные материалы (*углеуглепластики*), способные долго выдерживать в инертных или восстановительных средах температуры до 3000° С.



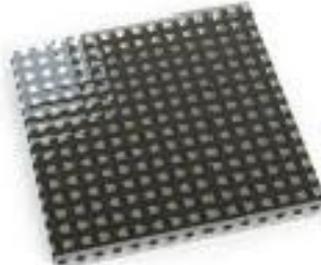
Разрушающее напряжение при растяжении, МПа

## Препреги — полуфабрикаты производства полимерных композитов

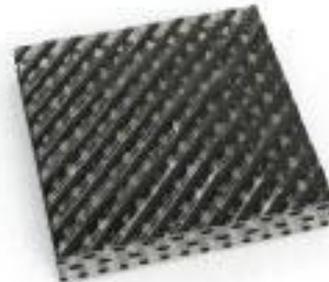
Препрег — материал, получаемый пропиткой армирующей волокнистой основы точно дозированным количеством равномерно распределенного полимерного связующего (на изображении соотношение компонентов не соблюдено). Поверхность армирующего материала (углеродные и стекловолокна) наномодифицирована электрохимическим, плазмохимическим травлением или нанесением наночастиц. Полимерные эпоксидные связующие наномодифицированы добавлением полиимидных олигомеров.



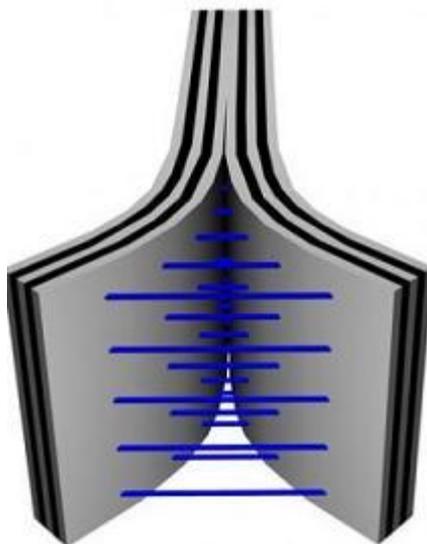
1 D — армирующий материал ориентирован в одном направлении.



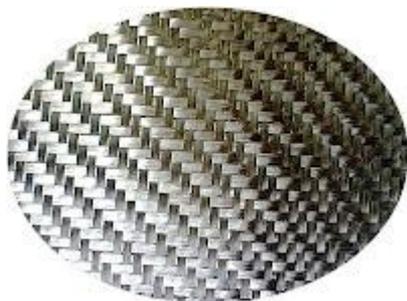
2 D — двунаправленные ткани различного типа плетения. Армирующий материал ориентирован в двух направлениях под заданным углом друг к другу.



Мультиаксиальная ткань — многослойная ткань, в которой армирующий материал без переплетения слоев ориентирован не менее, чем в двух направлениях, например с углами ориентации 0, +45, 90, -45 градусов.



- Инженеры Массачусетского технологического института использовали углеродные нанотрубки для соединения отдельных листов материалов обшивки самолета.
- Предполагается, что такая технология может примерно в 10 раз повысить прочность соединения композиционных материалов при чисто символическом увеличении стоимости.

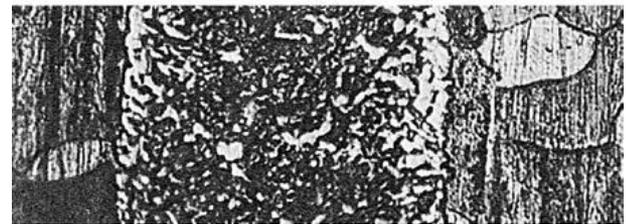
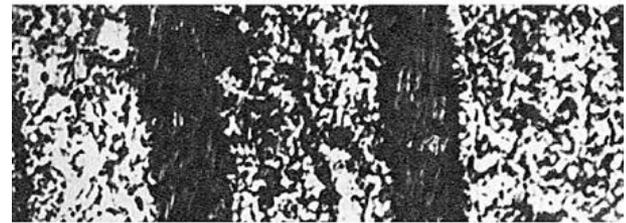
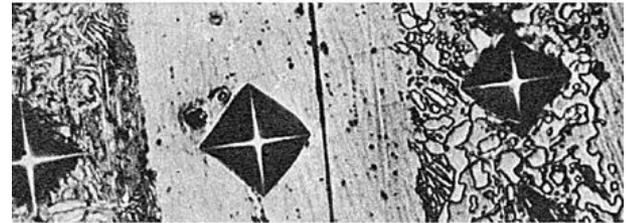


### **Углепластик или карбон**

Это полимерные композиционные материалы из переплетенных нитей углеродного волокна, расположенных в матрице из полимерных (например, эпоксидных) смол. Плотность — от  $1450 \text{ кг/м}^3$ . Материалы эти отличаются высокой прочностью, жёсткостью и малым весом. Нередко они бывают прочнее стали, но гораздо легче по весу.

- **Композиционные материалы с металлической матрицей.**
- При создании композитов на основе металлов в качестве матрицы применяют алюминий, магний, никель, медь и т. д. Наполнителем служат высокопрочные волокна, тугоплавкие частицы различной дисперсности, нитевидными монокристаллы оксида алюминия, оксида бериллия, карбидов бора и кремния, нитридов алюминия и кремния и т.д. длиной 0,3-15 мм и диаметром 1-30 мкм.
- *Основными преимуществами композиционных материалов с металлической матрицей по сравнению с обычным (неусиленным) металлом являются: повышенная прочность, повышенная жесткость, повышенное сопротивление износу, повышенное сопротивление ползучести.*

# Кинжал из дамасской стали и ее микроструктура



- **Композиционные материалы на основе керамики.** Армирование керамических материалов волокнами, а также металлическими и керамическими дисперсными частицами позволяет получать высокопрочные композиты, однако, ассортимент волокон, пригодных для армирования керамики, ограничен свойствами исходного материала.
- Часто используют металлические волокна. Сопротивление растяжению растет незначительно, но зато повышается сопротивление тепловым ударам — материал меньше растрескивается при нагревании, но возможны случаи, когда прочность материала падает. *Это зависит от соотношения коэффициентов термического расширения матрицы и наполнителя.*

# Что такое наноматериал?

Самый простой подход связан с геометрическими параметрами, в соответствии с которыми материалы с характерным размером структурных элементов в диапазоне от 1 до 100 нм называют наноструктурными.

“Нано” –  $10^{-9}$  (от греч. гном)

Размер структурных элементов должен быть соизмерим с корреляционным радиусом того или иного физического явления:

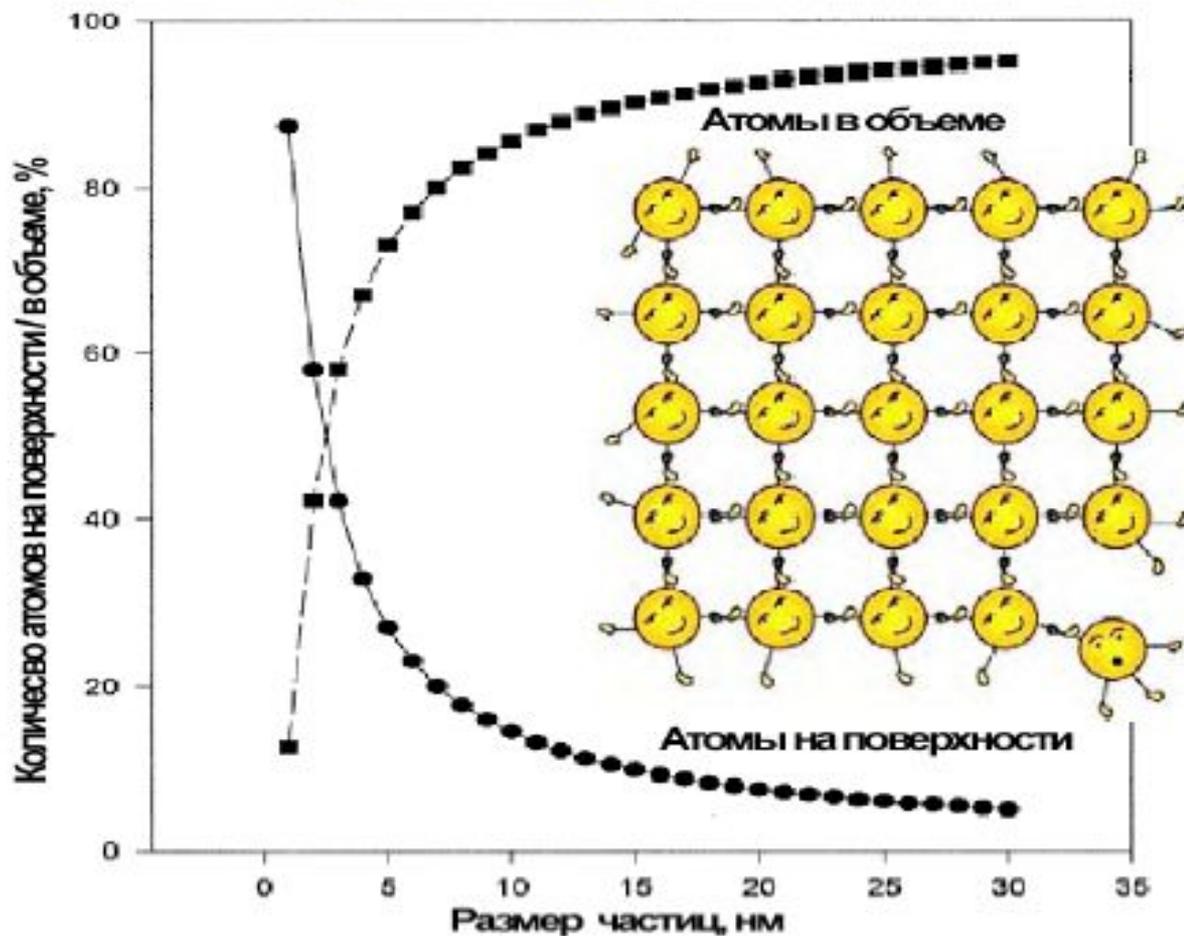
для прочностных свойств это будет *размер бездефектного кристалла,*

для электропроводности – *длина свободного пробега электронов.*

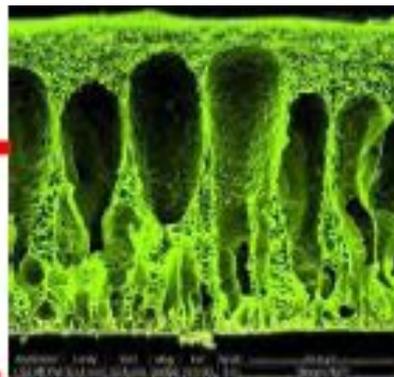
Второй подход связан со значительной ролью в формировании свойств наноматериалов многочисленных поверхностей раздела.

При этом наибольшее изменение свойств происходит в случае, когда объемная доля поверхностей раздела в общем объеме материала составляет более 50%.

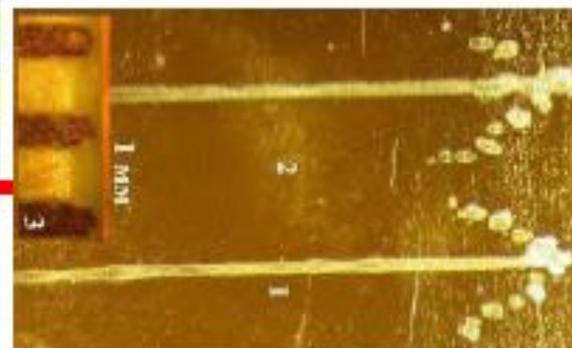
## Вклад поверхности



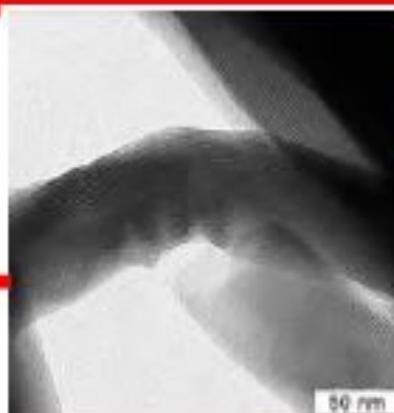
- **Объемные (3D) наноструктурированные материалы:** металлы и сплавы с ультрамикроструктурой, нанокерамика



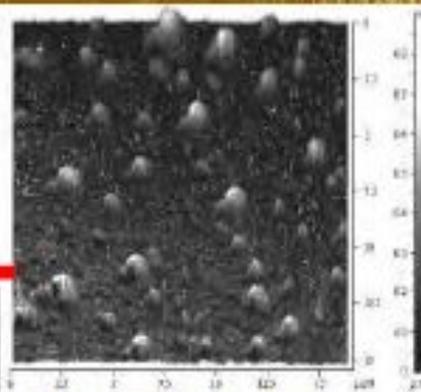
- **Наноструктурированные планарные материалы 2D:** пленки и покрытия, нанопечатная литография, самособирающиеся монослои



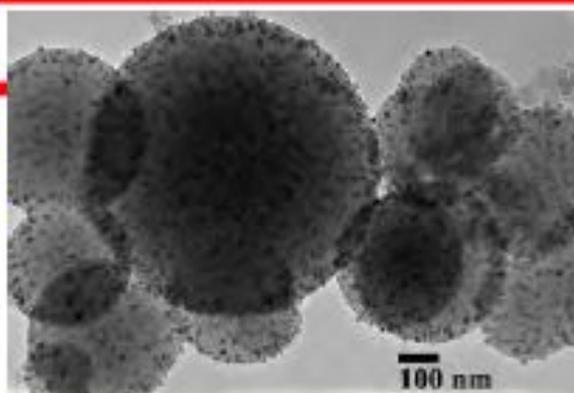
- **Наноструктурированные (1D) материалы:** нанотрубки, нановолокна, наноагрегаты и нанопроволоки



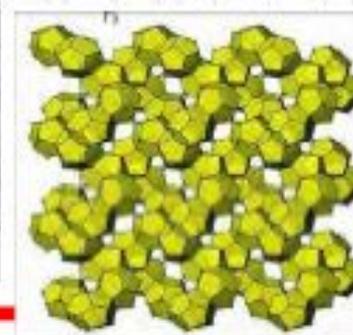
- **Нанодисперсные (0D) материалы:** нанопорошки, нанокристаллы, квантовые точки



- **Наноконпозиты:** наноструктурированные матрицы, наночастицы в керамической, металлической или полимерной матрице



- **Супрамолекулярные материалы**



# Применение наноматериалов

- Конструкционные наноструктурные твердые и прочные сплавы** для режущих инструментов с повышенной износостойкостью и ударной вязкостью,
- наноструктурные защитные термо- и коррозионностойкие покрытия;**
- полимерные композиты с наполнителями из наночастиц и нанотрубок**, обладающих повышенной прочностью и низкой воспламеняемостью;
- биосовместимые наноматериалы** для создания искусственной кожи, принципиально новых типов перевязочных материалов с антимикробной, противовирусной и противовоспалительной активностью;
- наноразмерные порошки с повышенной поверхностной энергией**, в том числе магнитные, для дисперсионного упрочнения сплавов, создания элементов памяти аудио- и видеосистем, добавок к удобрениям, кормам, магнитным жидкостям и краскам;

# **СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ**

- **Производство сверхпрочных материалов**
- **Производство сверхтвердых материалов**
- **Уменьшение эффективной массы изделий**
- **Проблема создания материалов выдерживающих механические нагрузки при высоких температурах**
- **Возросли требования к чистоте материалов**
- **Защита материалов от химического взаимодействия с окружающей средой**
- **Создание композиционных материалов с заданными свойствами**
- **Разработка широкого спектра функциональных наноматериалов**