

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.

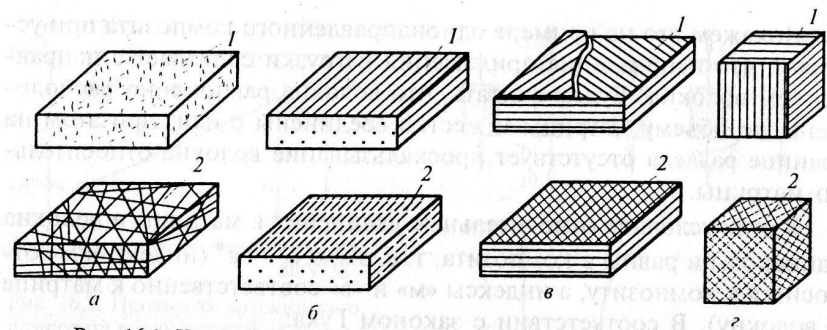
Границы раздела, в первую очередь адгезионное взаимодействие волокна с матрицей, определяют уровень свойств композитов и их постоянство в условиях эксплуатации.

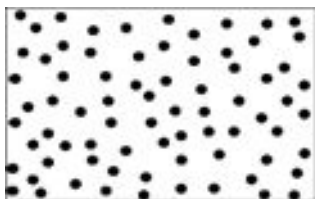
Максимальная прочность достигается, если между матрицей и арматурой происходит образование твердых растворов или химических соединений.

- 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

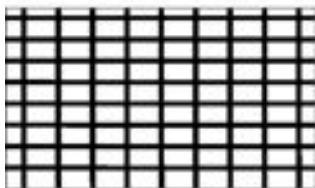


Материалы на основе нитей, жгутов, лент

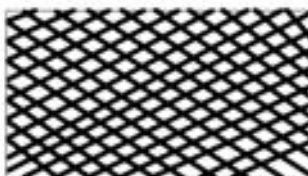


Материалы на основе волокон

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 ³	$\sigma_{\text{взг.}}$, ГПа	Модуль упругости, ГПа
	Полимерные			
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
	Металлические			
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
	Углеродные			
Углеродная	Углеродное волокно	1,5 1,8	0,35 1,0*	120 220
	Керамические			
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 терморезактивных органопластике 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.

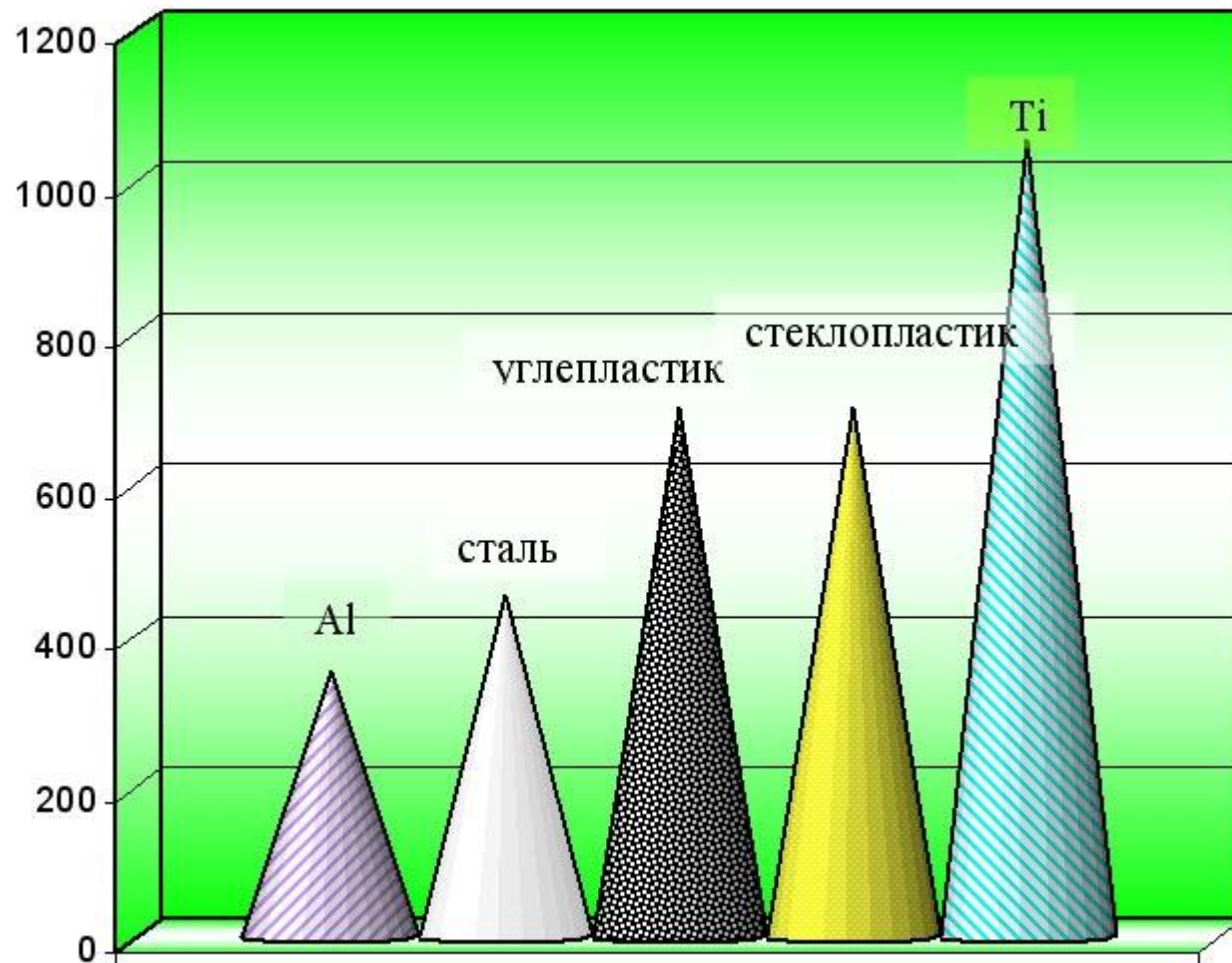


88DB.com



- **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.



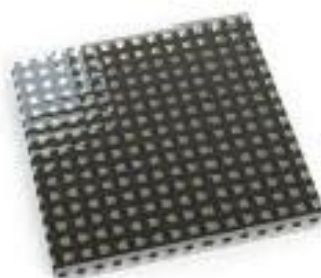
Разрушающее напряжение при растяжении, МПа

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.



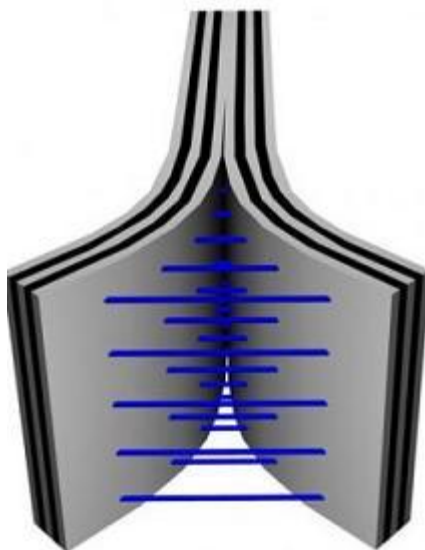
1 D — армирующий материал ориентирован в одном направлении.



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.

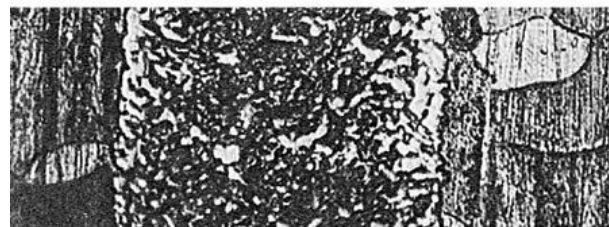
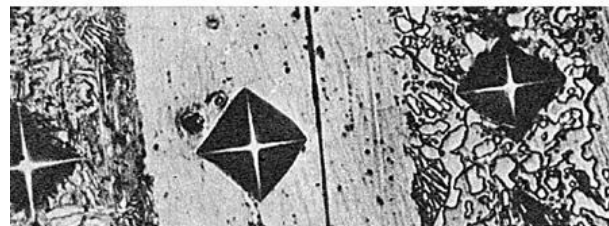


Углепластик или карбон

Это полимерные композиционные материалы из переплетенных нитей углеродного волокна, расположенных в матрице из полимерных (например, эпоксидных) смол. Плотность — от 1450 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:

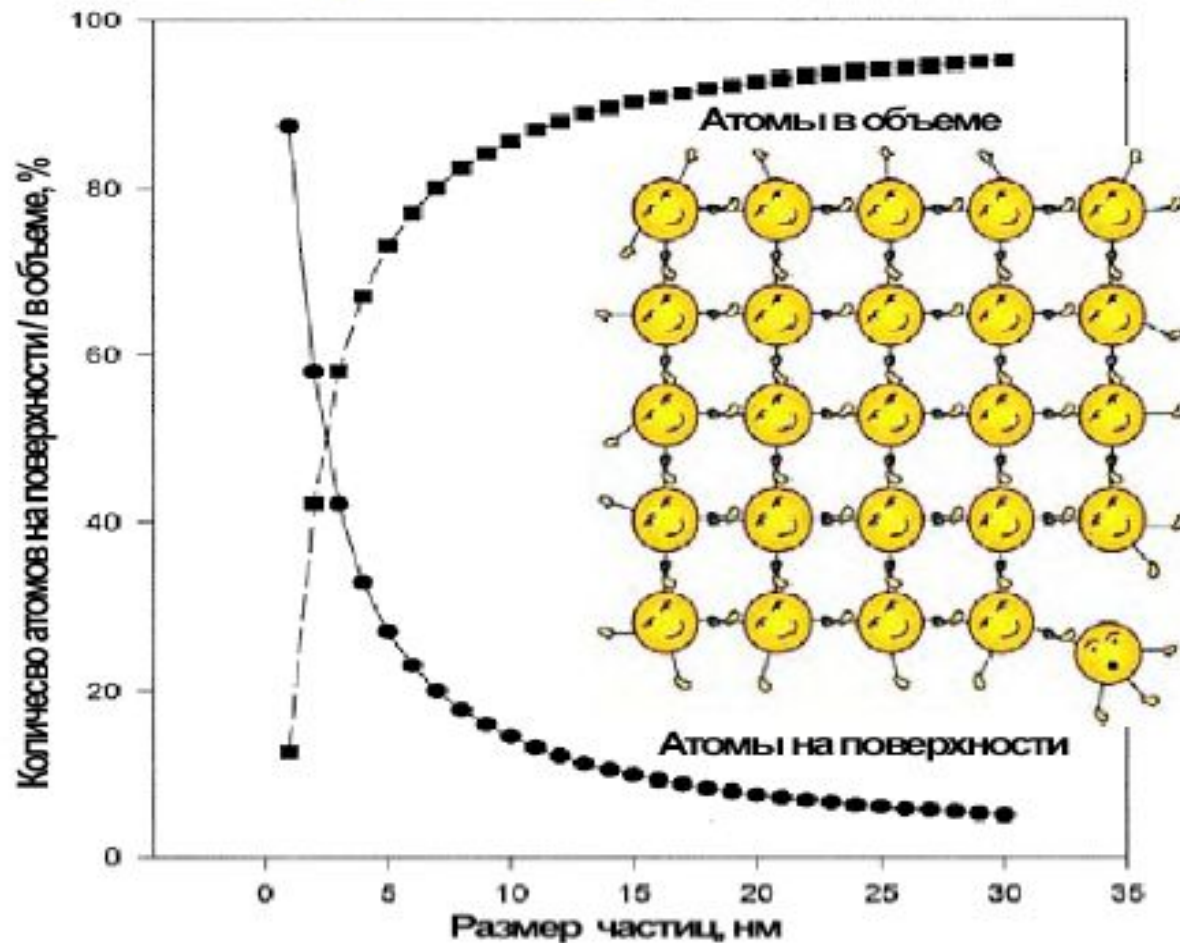
для прочностных свойств это будет *размер бездефектного кристалла,*

для электропроводности – *длина свободного пробега электронов.*

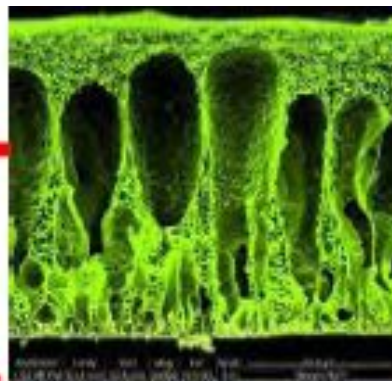
Второй подход связан со значительной ролью в формировании свойств наноматериалов многочисленных поверхностей раздела.

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

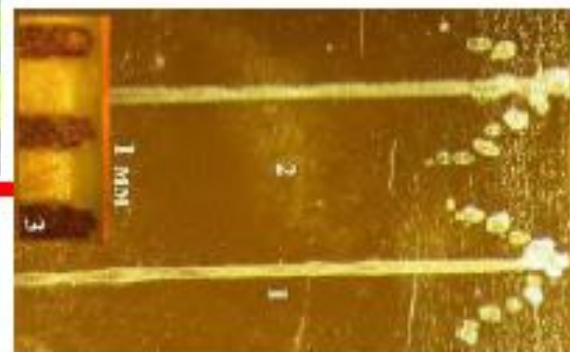
Вклад поверхности



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



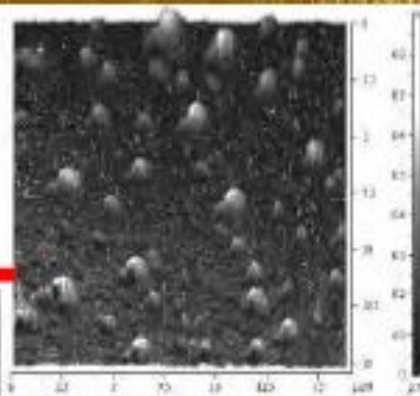
- **Наноструктурированные планарные материалы 2D:** пленки и покрытия, нанопечатная литография, самособирающиеся монослои



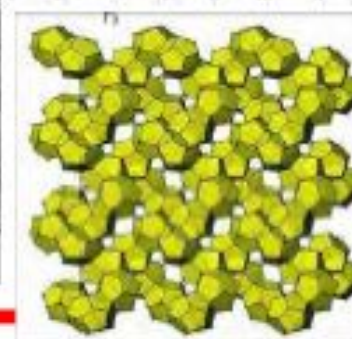
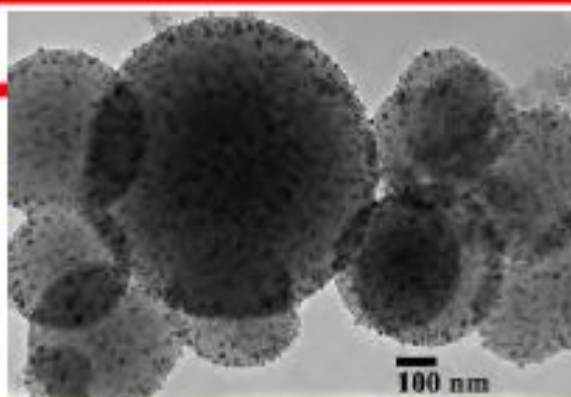
- **Наноструктурированные (1D) материалы:** нанотрубки, нановолокна, наноагрегаты и нанопроволоки



- **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**