

Часть I. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О КОМПОЗИТАХ.

1. Понятие о композитах
1. Роль композитов в техническом прогрессе человечества
1. Использование композитов в древности
 - Армированные кирпичи
 - Зиккурат в г. Ур
 - Битумная дорога
 - Армированные стены в г. Урук
 - Древняя бумага
 - Мумифицирование
 - Монгольский лук
 - Дамасская сталь
 - Катана
 - Древнегреческий линоторакс
2. **Классификация композитов**
 - **Волокнистые композиты**
 - **Композиты, упрочненные частицами**
 - **Нанокompозиты**
 - **Слоистые композиты**
 - **Сэндвич композиты (трехслойные панели)**
5. Особенности композитов по сравнению с традиционными материалами
 - Анизотропия
 - Удельная прочность и удельный модуль
 - Сопротивление усталости
 - Особенности проектирования
 - Механизм деформирования и разрушения
 - Внутреннее демпфирование
 - Влияние окружающей среды
 - Особенности изготовления
6. Области применения композитов
 - Авиация и ракетостроение
 - Транспортная индустрия
 - Судостроение и морская промышленность
 - Строительство
 - Ветроэнергетика
 - Спорт
 - Оборонная промышленность
 - Медицина
 - Потребительские товары
5. Предварительный выбор материала

Композиты можно условно разделить на несколько категорий:

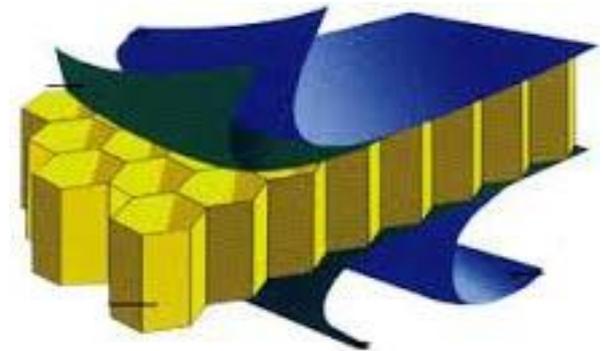
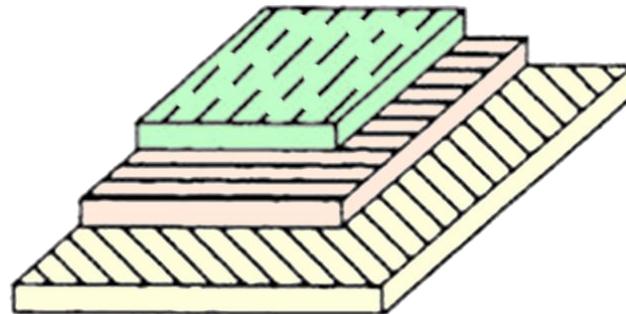
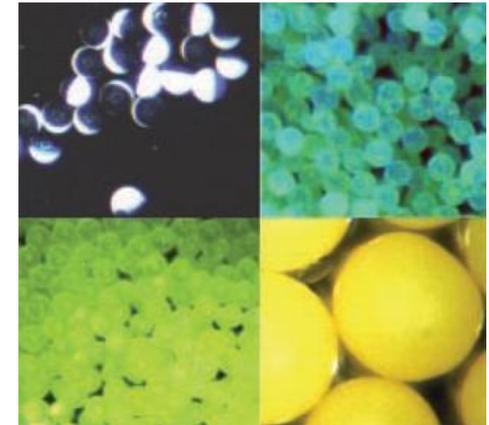
- волокнистые композиты, где армирующими элементами являются волокна
- композиты, упрочненные частицами
- нанокомпозиты - представляющие материалы, наполненные наночастицами
- слоистые композиты, структура которых напоминает слоеный пирог
- сэндвич-композиты, которые часто называют трехслойными конструкциями, где тонкие, но при этом жесткие панели соединены толстым слоем какого-то легкого заполнителя

ВВЕДЕНИЕ В ПРЕДМЕТ.

4. Классификация композитов.

Классификация композитов:

1. Волокнистые композиты
2. Композиты, упрочненные частицами
3. Нанокompозиты
4. Слоистые композиты
5. Сэндвич композиты (трехслойные конструкции)



Среди всех существующих композитных материалов на сегодняшний день наиболее востребованными на рынке российской и зарубежной промышленности являются волокнистые композиты.

Армирующими элементами *волокнистых композитов*, естественно, служат *волокна*, как правило, обладающие высокой прочностью и жесткостью.

Это могут быть длинные волокна, короткие волокна, ткани, сплетенные из нитей, а также любые их комбинации, образующие гибридные композиты.

ВВЕДЕНИЕ В ПРЕДМЕТ.

4. Классификация композитов.

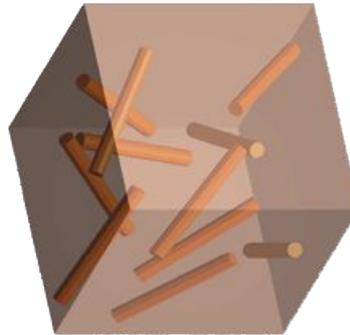
1. ВОЛОКНИСТЫЕ КОМПОЗИТЫ

Армирующие элементы – волокна высокой прочности и жесткости

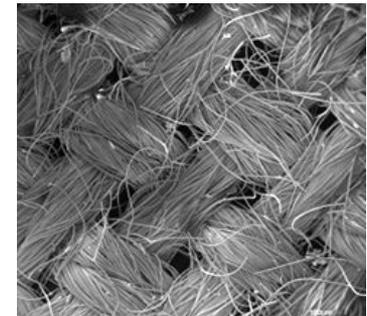
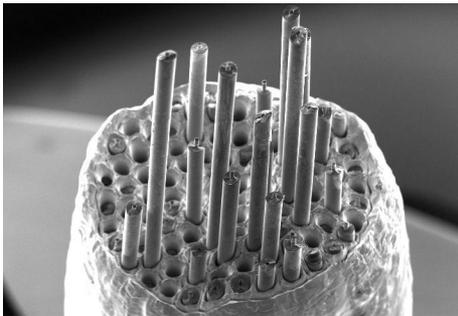
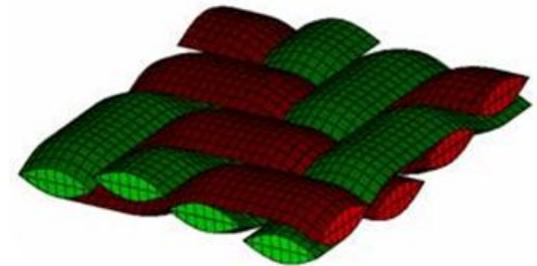
*Непрерывные (длинные)
волокна*



*Короткие (рубленые)
волокна*



Ткань



Наиболее распространенными материалами волокон являются стекло, углерод и арамид. Несколько менее популярны бор, оксид алюминия и карбид кремния.

ВВЕДЕНИЕ В ПРЕДМЕТ.

4. Классификация композитов.

1. ВОЛОКНИСТЫЕ КОМПОЗИТЫ

Армирующие материалы:

- *Стекловолокна*
- *Углеродные волокна*
- *Арамидные волокна*
- *Борные волокна*
- *Волокна на основе оксида алюминия*
- *Карбидокремниевые волокна*

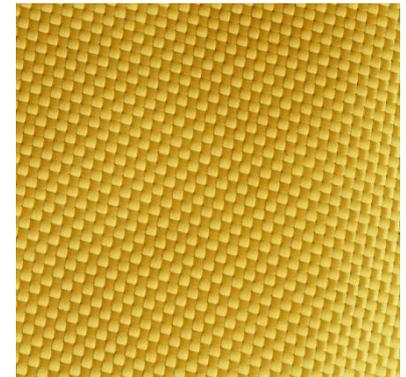
*Ткань из стекловолокон
(стеклоткань)*



*Ткань из углеродных
волокон*



*Ткань из арамидных
волокон*



В качестве матрицы используются полимеры, такие как, например, эпоксидная смола, металлы (например, алюминий) или керамика, примером которой может служить оксид алюминия.

ВВЕДЕНИЕ В ПРЕДМЕТ.

4. Классификация композитов.

1. ВОЛОКНИСТЫЕ КОМПОЗИТЫ

Материалы матриц:

- *Полимеры*
- *Металлы*
- *Керамика*

*Эпоксидная смола
(полимер)*



*Алюминий
(металл)*



*Оксид алюминия
(керамика)*



Несущая способность конструкций из волокнистых композитов обеспечивается в основном волокнами, а матрица выполняет следующие функции:

- обеспечение требуемого расположения волокон в материале;
- передача нагрузок волокнам;
- защита волокон от вредных воздействий окружающей среды, таких как агрессивные среды, повышенная влажность воздуха, обледенение, высокие или низкие температуры.

ВВЕДЕНИЕ В ПРЕДМЕТ.

4. Классификация композитов.

1. ВОЛОКНИСТЫЕ КОМПОЗИТЫ

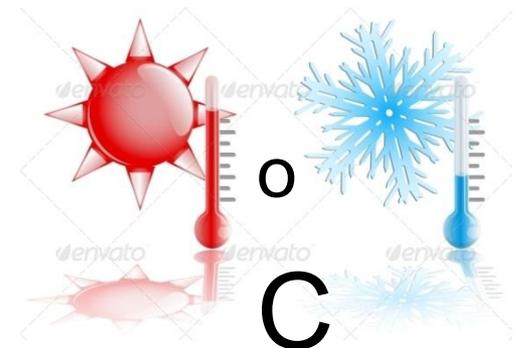
Основная функция волокон – обеспечение несущей способности конструкции

Функции матрицы:

- фиксация волокон в материале
- передача внешних нагрузок волокнам
- защита волокон от вредных воздействий окружающей среды



Типы вредных воздействий

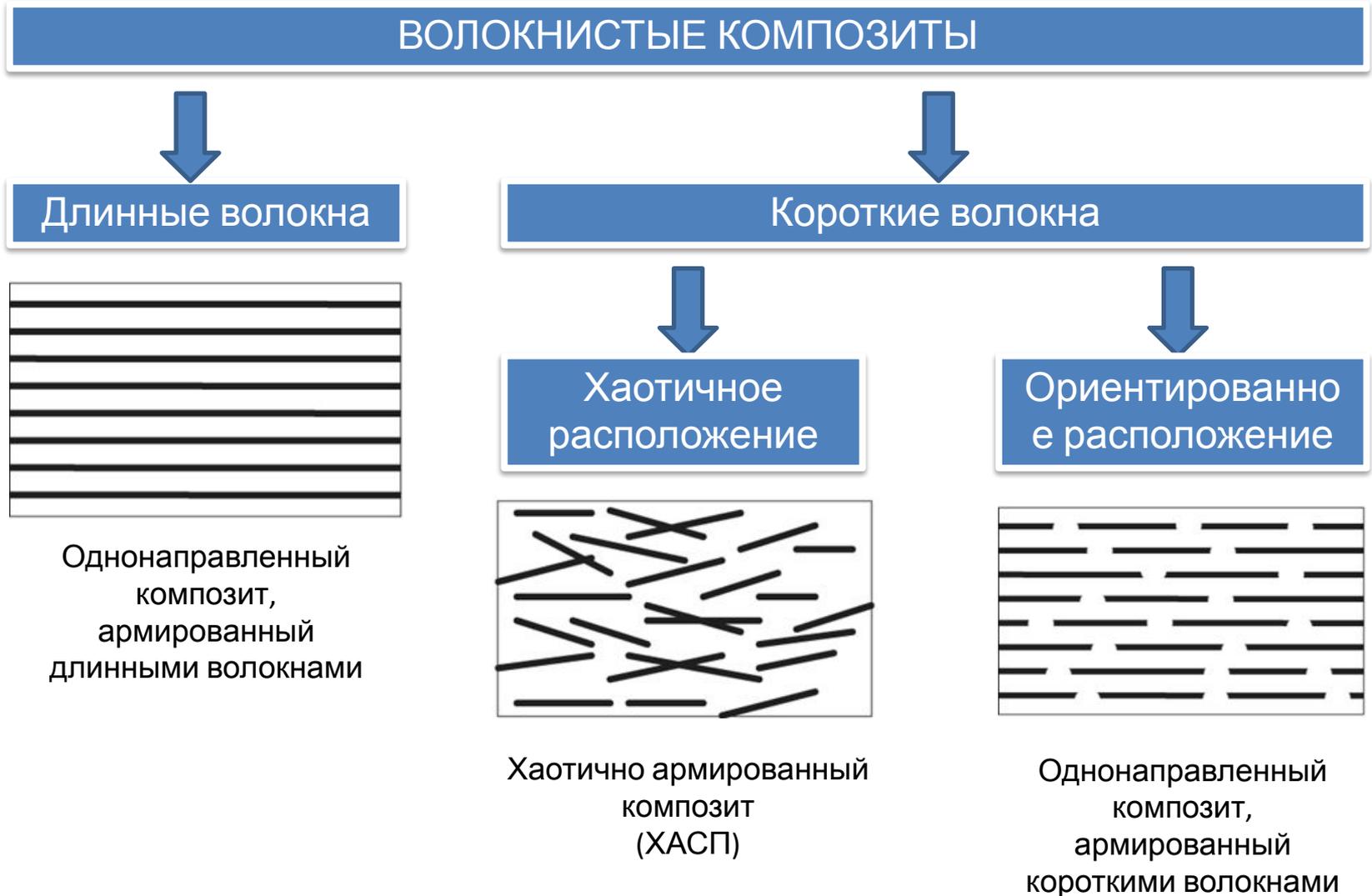


Волокнистые композиты делятся на два основных класса в зависимости от длины армирующих волокон: 1) композиты, армированные длинными волокнами и 2) композиты, армированные короткими волокнами.

Короткие волокна могут располагаться в материале хаотично или ориентировано, то есть в некотором заданном направлении. В первом случае говорят о хаотично армированном композите, а многослойные структуры из такого материала на основе полимерной матрицы сокращенно называют ХАСП – хаотично армированным слоистым пластиком. Во втором случае говорят об однонаправленном композите, армированном короткими волокнами.

ВВЕДЕНИЕ В ПРЕДМЕТ.

4. Классификация композитов.



Композиты, армированные длинными волокнами, по типу армирования разделяют на: а) одномерно армированные, б) двумерно армированные и с) пространственно армированные композиты.

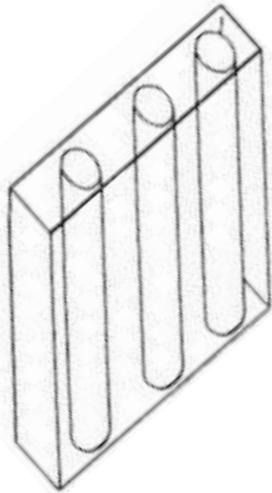
В первом случае говорят об однонаправленных композитах, во втором случае композиты обычно называют тканевыми, поскольку двумерное армирование проще всего обеспечивается путем использования в качестве наполнителя тканей различного типа плетения, а в третьем случае говорят о плетеных композитах.

ВВЕДЕНИЕ В ПРЕДМЕТ.

4. Классификация композитов.

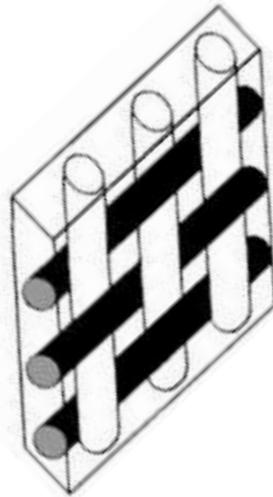
КОМПОЗИТЫ, АРМИРОВАННЫЕ ДЛИННЫМИ ВОЛОКНАМИ

Одномерно
армированные



Однонаправленный
композит

Двумерно
армированные



Тканевый
композит

Пространственно
армированные



Плетеный
композит

Из известных типов переплетения тканей сейчас наибольшей популярностью пользуются полотняное переплетение, саржевое и сатин.

Одно из направлений нитей обычно называют основой, а перпендикулярное – утком.

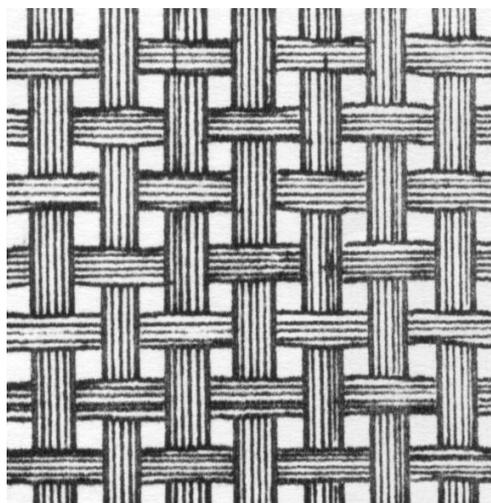
Полотняное переплетение – это самый простой вид переплетения, в котором нити основы и утка перекрывают друг друга в каждых двух последовательных перекрытиях.

Саржевое переплетение образует на поверхности ткани видимый диагональный рубчик («бугорки»), который в основном направлен сверху вниз и слева направо, но встречается и обратное направление рубчика (сверху вниз и справа налево), образуемое *обратным саржевым переплетением*.

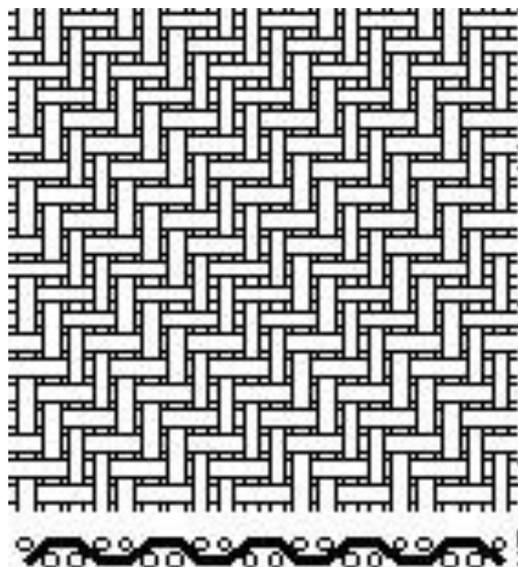
Нить сатинового переплетения, как правило, огибает 4, 6 или 8 нитей перпендикулярного направления снизу и затем одну сверху и так далее. В первом случае говорят о четырехремизном сатине, во втором – о шестиремизном, а в третьем - о восьмиремизном.

ВВЕДЕНИЕ В ПРЕДМЕТ.
4. Классификация композитов.

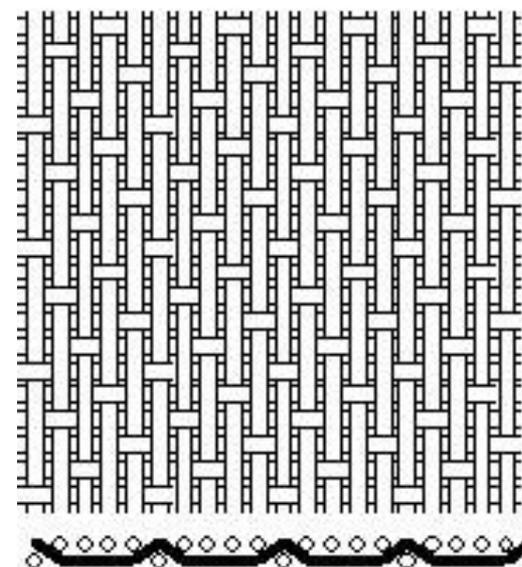
ТКАНЕВЫЕ КОМПОЗИТЫ



Плотняное плетение



Саржевое
плетение



Сатиновое
плетение

Композиты, упрочненные частицами, состоят из матрицы и равномерно распределенных в ней микрочастиц слюды, кварца, стекла, диоксида кремния, карбоната кальция и других материалов. В отличие от волокнистых композитов в этих материалах за несущую способность конструкции отвечает матрица, а не наполнитель.

ВВЕДЕНИЕ В ПРЕДМЕТ.

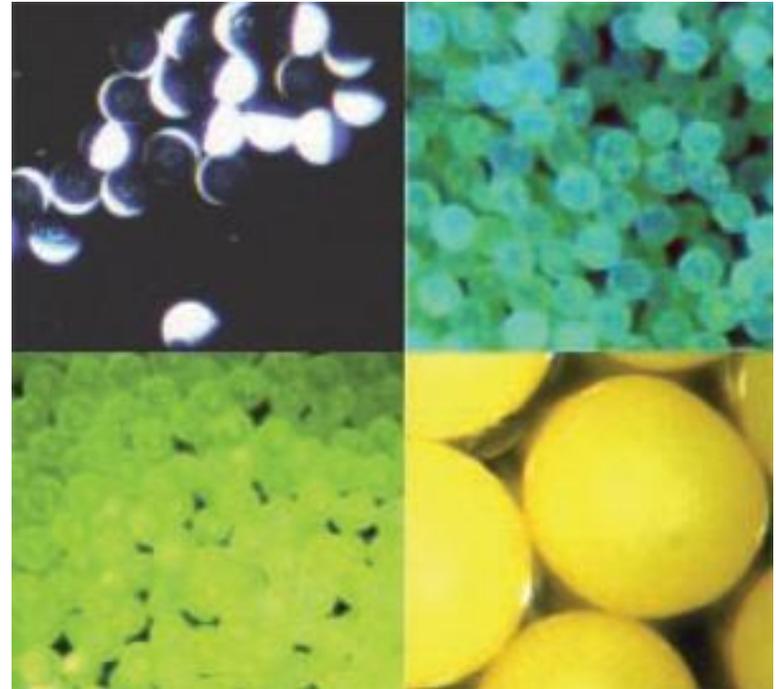
4. Классификация композитов.

2. КОМПОЗИТЫ, УПРОЧНЕННЫЕ ЧАСТИЦАМИ

Композиты, упрочненные частицами, состоят из матрицы и равномерно распределенных в ней частиц

Типичные материалы частиц:

- Слюда
- Кварц
- Стекло
- Диоксид кремния (песок)
- Карбонат кальция и др.



За несущую способность конструкции отвечает матрица, а не наполнитель в отличие от волокнистых композитов

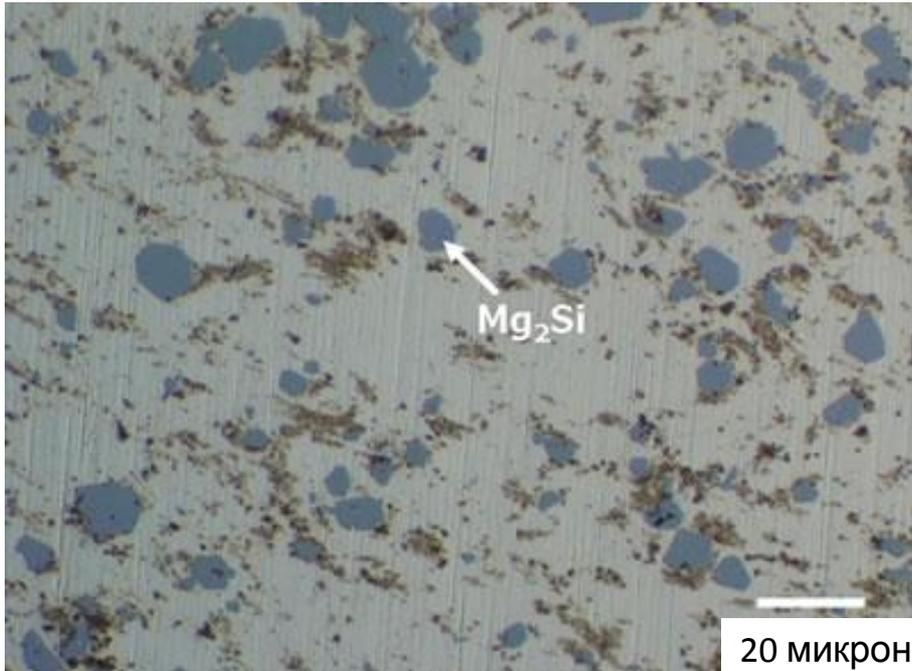
Средний размер частиц наполнителя обычно составляет порядка микрона, то есть 10^{-6} м.

Если частицы имеют размеры меньше микрона, то такой материал обычно называют *дисперсно-упрочненным*. Известно, что наиболее высокая прочность дисперсно-упрочненных композитов достигается при размере частиц от 10 до 500 нм при среднем расстоянии между ними от 100 до 500 нм и равномерном распределении их в матрице.

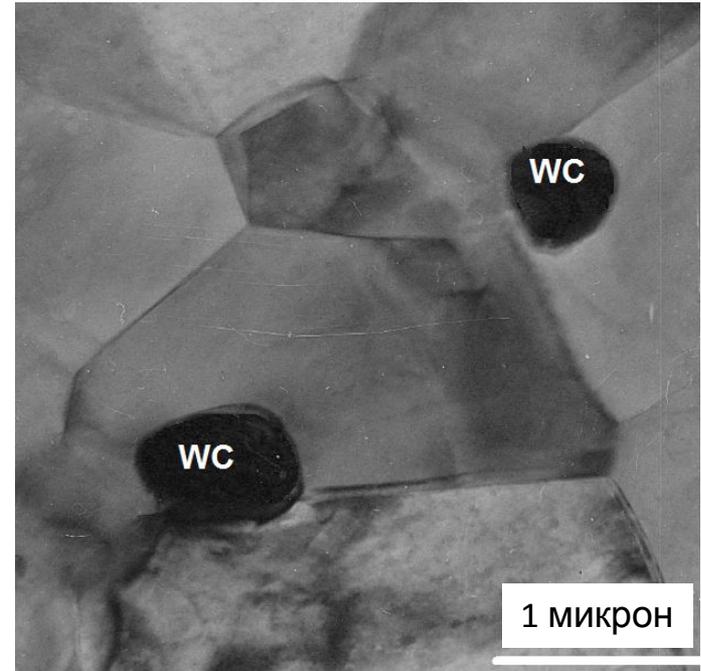
ВВЕДЕНИЕ В ПРЕДМЕТ.

4. Классификация композитов.

2. КОМПОЗИТЫ, УПРОЧНЕННЫЕ ЧАСТИЦАМИ



Матрица - магниевый сплав
Частицы - Mg_2Si
Добавление частиц снижает износ материала



Дисперсно-упрочненный композит
Матрица – оксид цинка
Частицы – WC (карбид вольфрама)

Композиты, у которых средний размер упрочняющих частиц не превышает 100 нанометров, называют *нанокомпозитами*.

Объемная доля наполнителя в этих материалах весьма незначительна – порядка 2-5%. При этом нанокомпозиты сочетают в себе преимущества составляющих компонентов: малый вес, гибкость, хорошую перерабатываемость, повышенную ударпрочность и износостойкость. Кроме того, эти материалы являются весьма многообещающими с точки зрения термических, электрических и оптических свойств. Это обусловлено тем, что отношение площади поверхности наночастицы к ее объему очень высоко, что обеспечивает лучшее химическое взаимодействие между матрицей и наполнителем. Поэтому показатели композитов, армированных наночастицами значительно превышают показатели тех же материалов, армированных, например, волокнами или микрочастицами.

Одним из главных недостатков наночастиц является тенденция к образованию агломератов, то есть совокупностей частиц, прочно слипшихся друг с другом из-за высокого отношения площадей поверхностей наночастиц к их объему. Одно из возможных решений проблемы агломератов – это использование в композите специальных веществ – диспергентов, предотвращающих слипание наночастиц.

Наиболее популярными материалами наночастиц являются следующие: углерод (нанотрубки, фуллерены, графен), оксид кремния, золото, серебро, оксид цинка и диоксид титана.

ВВЕДЕНИЕ В ПРЕДМЕТ.

4. Классификация композитов.

3. КОМПОЗИТЫ, УПРОЧНЕННЫЕ НАНОЧАСТИЦАМИ

Нанокompозиты – это композитные материалы, у которых средний размер частиц наполнителя не превышает 100 нм.

Объемная доля наполнителя – порядка 2-5%.

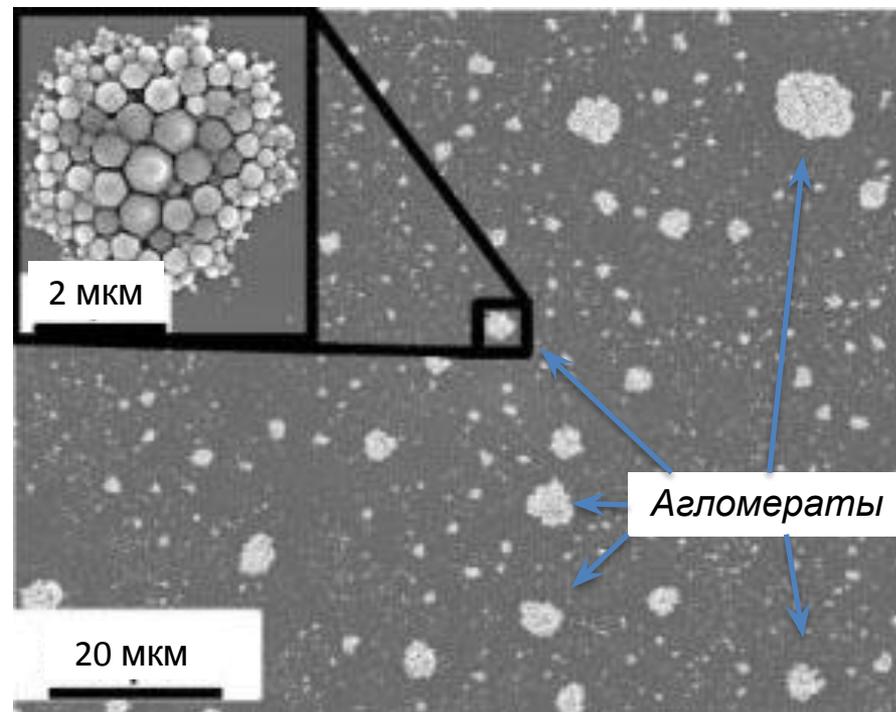
Преимущества - уникальные механические, термические, электрические и оптические свойства

Основной недостаток – тенденция к возникновению агломератов

Материалы наночастиц:

- углерод (нанотрубки, фуллерены, графен)
- оксид кремния
- золото
- серебро
- оксид цинка
- диоксид титана

Наночастицы в матрице



1. Углеродные наночастицы входят в состав композитных материалов, применяющихся для самых различных целей – от производства материалов для теннисных ракеток до деталей для космических кораблей. Благодаря уникальным характеристикам электропроводности и теплопроводности они находят широкое применение в электронике, а их способность преодолевать биологические мембраны и проникать через гематоэнцефалический барьер служат основой для проведения исследований по использованию этих материалов в качестве носителей для адресной доставки лекарств.
2. Диоксид кремния (SiO_2) также широко применяется в промышленности – в процессе изготовления теплоизоляторов, в производстве оптоэлектроники, как компонент для получения термостойких красок, лаков и клеев, а так же как стабилизаторы эмульсий. Также наночастицы SiO_2 добавляют в покрытия для защиты от влаги, абразивных повреждений и царапин. Для того чтобы покрытие было прозрачным, используются нанопорошки со средним размером частиц менее 40 нм.
3. Наночастицы золота используются как объект для изучения оптических свойств частиц металлов, механизмов агрегации и стабилизации коллоидов. Известны примеры применения КЗ в медицине, в частности, в цветных реакциях на белки. Частицы золота применяют для изучения транспорта веществ в клетку путем эндоцитоза, для доставки генетического материала в клеточное ядро, а также для адресной доставки лекарственных веществ. В промышленности наночастицы коллоидного золота используются при фотопечати и в производстве стекла и красителей.
4. Области применения наночастиц серебра могут быть различными: спектрально-селективные покрытия для поглощения солнечной энергии, в качестве катализаторов химических реакций, для антимикробной стерилизации. Последняя область применения является наиболее важной и включает в себя производство различных средств упаковки, перевязки и водоэмульсионных красок и эмалей. В настоящее время на основе коллоидного серебра выпускаются биологически активные добавки с антибактериальным, противовирусным и противогрибковым действием. Слоем наночастиц серебра покрывают столовые приборы, дверные ручки и даже клавиатуру и «мышки» для компьютеров. Также наночастицы серебра используют при создании новых покрытий, косметики, а также для очистки воды и уничтожения болезнетворных микроорганизмов в фильтрах систем кондиционирования воздуха.

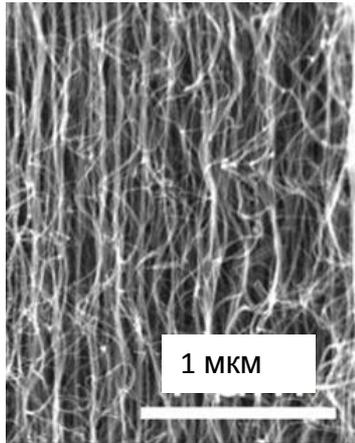
5. На настоящий момент частицы *оксида цинка* (ZnO) и *диоксида титана* (TiO₂) используются в краске, пластике и текстиле, а также в качестве антисептиков в зубной пасте и косметике. Например, благодаря фотокаталитической активности и поглощению света в ультрафиолетовом диапазоне оксид цинка и диоксид титана получили широкое распространение в солнцезащитных кремах. Несмотря на широкую распространенность наночастиц ZnO и TiO₂ в косметических средствах и продуктах питания, в последнее время появляется все больше работ, в которых показано, что фотокаталитическая активность может оказывать токсическое воздействие на клетки и ткани. Так показано, что TiO₂ является генотоксичным и может способствовать старению организма за счет образования активных форм кислорода.

ВВЕДЕНИЕ В ПРЕДМЕТ.

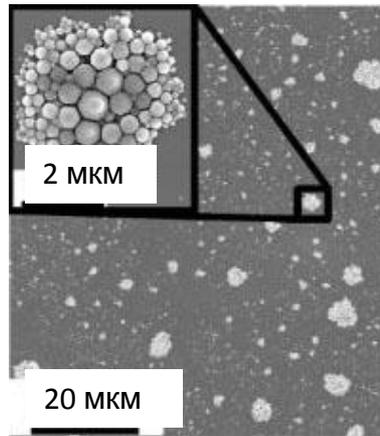
4. Классификация композитов.

3. КОМПОЗИТЫ, УПРОЧНЕННЫЕ НАНОЧАСТИЦАМИ

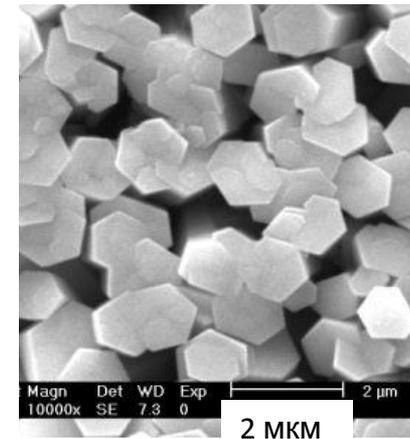
Углеродные



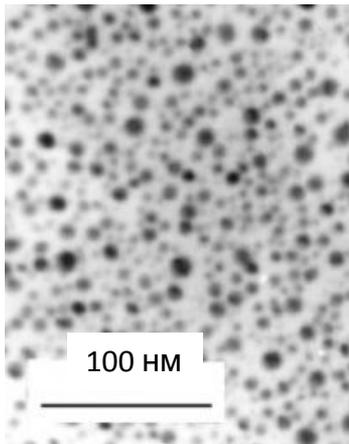
Наночастицы SiO₂



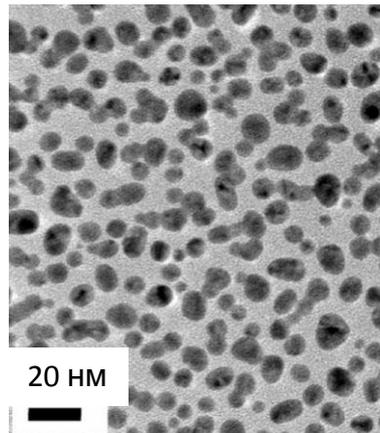
Наночастицы ZnO



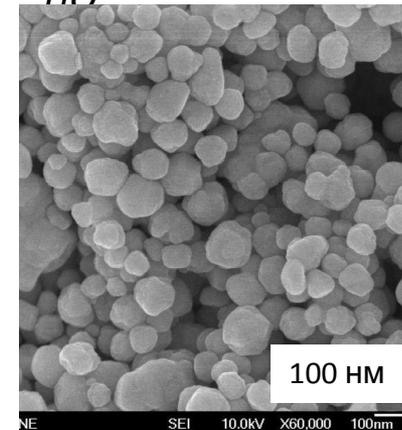
Наночастицы серебра в полимерной матрице



Наночастицы золота в полимерной матрице



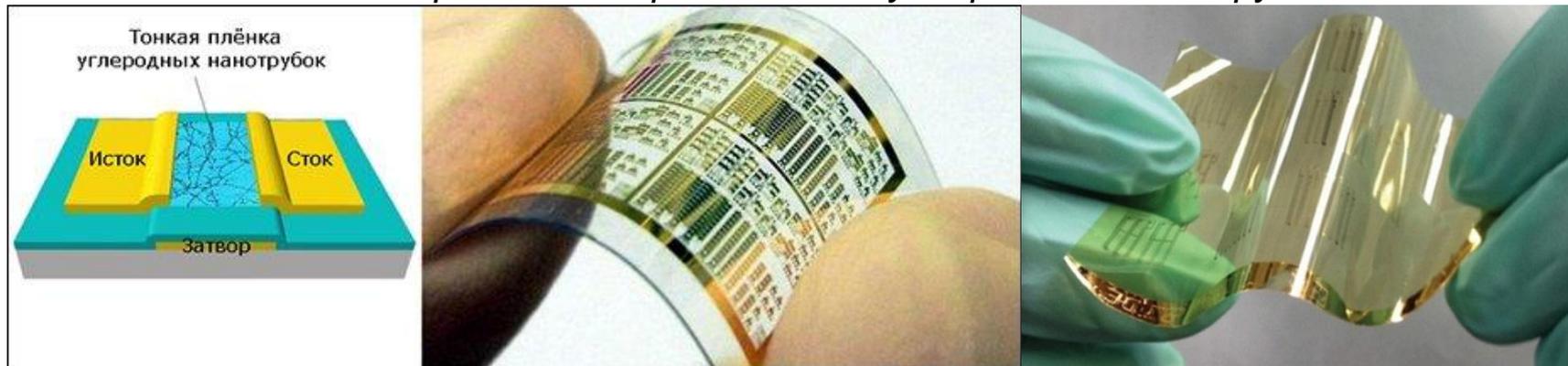
Наночастицы TiO₂



Пример применения углеродных нанотрубок

Углеродные нанотрубки на сегодняшний момент представляют один из лучших материалов для применения в области радиоэлектроники. Например, *микросхемы с использованием углеродных нанотрубок работают быстрее полупроводниковых и требуют меньше пластиковых транзисторов, а также не нуждаются в дополнительной защите от того же ультрафиолета. Фактор энергопотребления при этом особенно важен: гибкая электроника на транзисторах с углеродными нанотрубками предполагается мобильной, то есть не требующей сетевого питания.*

Гибкие микросхемы с применением углеродных нанотрубок



Пример применения наночастиц оксида кремния

Китайские учёные разработали наночастицы оксида кремния, напоминающие по форме и полостям ягоды малины, для создания прозрачного водоотталкивающего, самоочищающегося покрытия для стекла и других прозрачных поверхностей. При этом они использовали идею листа лотоса, хорошо известного своими водоотталкивающими свойствами, которые происходят из мельчайших текстурированных бугорков, покрывающих его поверхность.

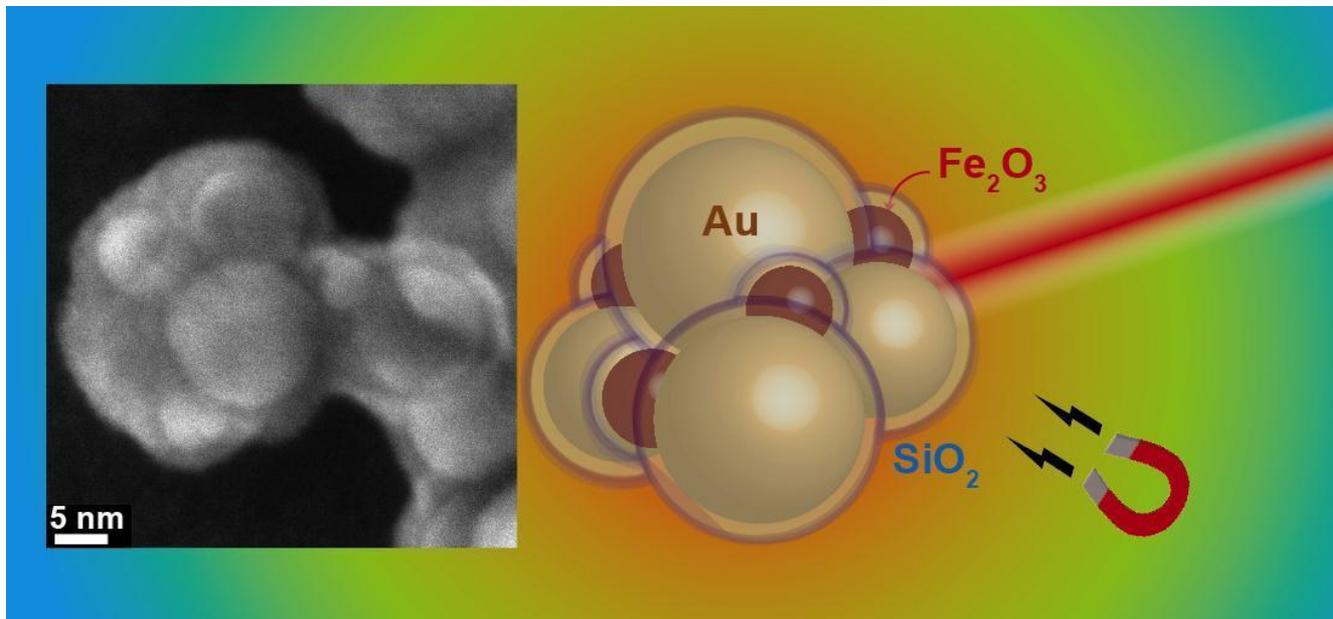
Покрывтие на основе наночастиц SiO_2



Пример применения наночастиц золота

Ученым Швейцарской высшей технической школы Цюриха было показано, что наночастицы на основе золота и оксида железа с покрытием из диоксида кремния могут быть использованы для лечения опухолей. Эксперименты показали, что такие гибридные частицы не теряют способности связываться с раковыми клетками, не обладают цитотоксичностью, не осаждаются и не образуют агломератов. Магнитные свойства наночастиц при этом позволяют направить их к определенному органу или ткани. Наночастицы могут «закрепиться» на раковых клетках и локально разрушить их при нагревании магнитным полем, создаваемым высокоэнергетическими постоянными магнитами, или инфракрасным излучением.

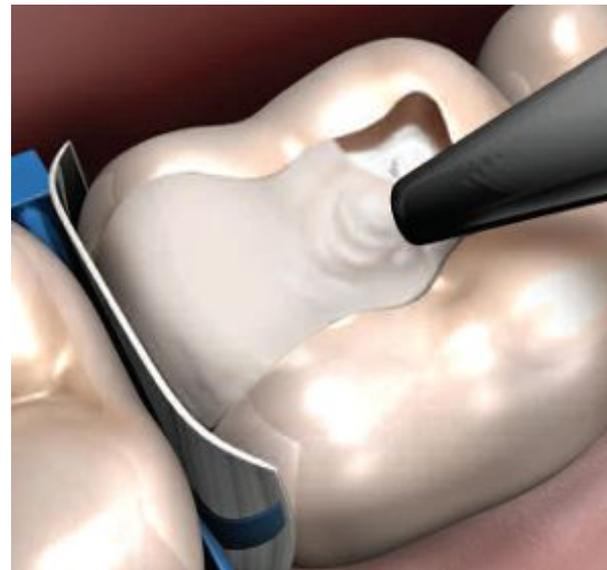
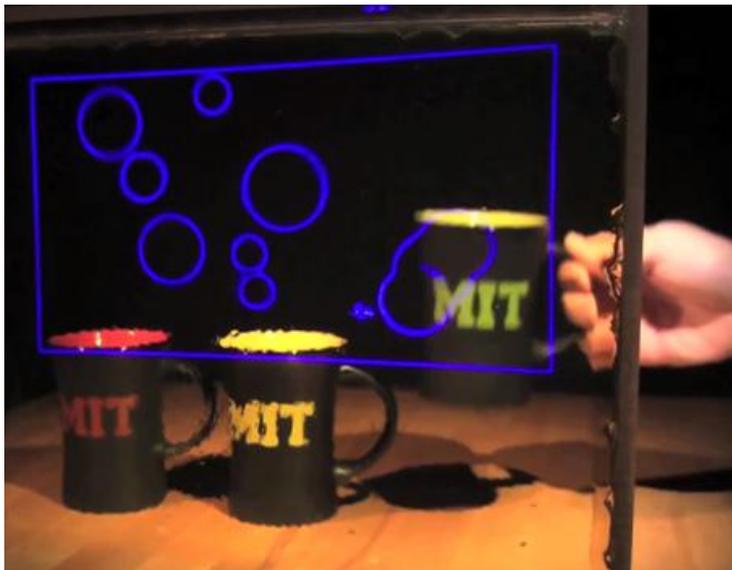
Использование наночастиц золота для лечения раковых опухолей



Примеры применения наночастиц серебра

Команда из Массачусетского технологического института, Гарвардского факультета физики и Эджвудского химико-биологического центра разработала прозрачный проекционный экран с использованием наночастиц серебра, рассеивающих синий свет, излучаемый проектором. В результате получается дисплей, который пропускает большую часть света через себя и потому кажется прозрачным, но при этом он взаимодействует с синим цветом, а значит, способен послужить дополнением к проектору

Как известно, серебро обладает ярко выраженным антисептическим и антибактериальным действием. В стоматологии это используется для создания новых, более долговечных пломбировочных материалов, содержащих серебряные наночастицы. Кроме того, антибактериальные покрытия используют в медицинских учреждениях для обеззараживания помещений и оборудования.



Примеры применения наночастиц оксида цинка и диоксида титана

Наночастицы оксида цинка и диоксида титана можно найти во всем, от косметики, до солнцезащитного крема. Однако, в ходе экспериментов, учеными Калифорнийского университета было доказано, что наночастицы являются причиной системных генетических повреждений у мышей.

Косметические средства с наночастицами оксида цинка и диоксида титана



Слоистые композиты представляют структуру типа «слоеный пирог», где в качестве слоев выступают самые разные материалы. Например, это могут быть тканевые, однонаправленные или хаотично армированные волокнистые композиты. Чаще всего слоистые композиты представляют набор слоев с различными направлениями укладки волокон.

Преимуществом слоистых композитов является их способность обеспечить сложный набор требуемых свойств, таких как, например, повышенная прочность и жесткость при заданных видах нагружения, а также низкие коэффициенты теплового расширения в заданных направлениях.

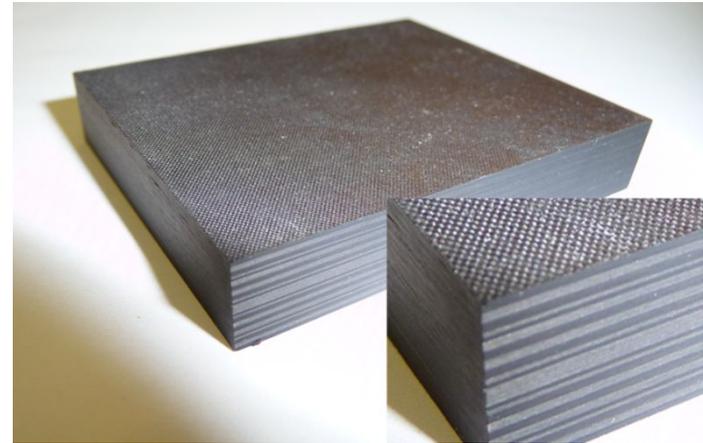
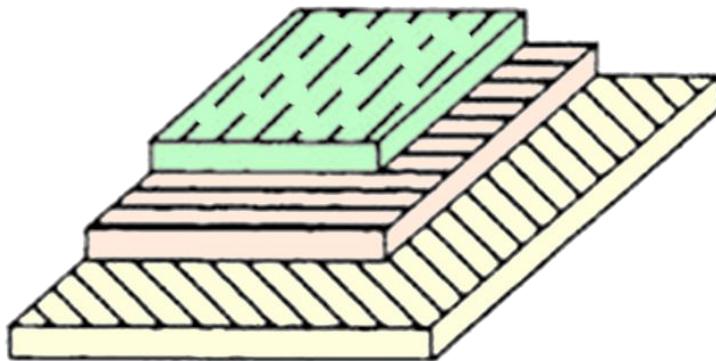
ВВЕДЕНИЕ В ПРЕДМЕТ.

4. Классификация композитов.

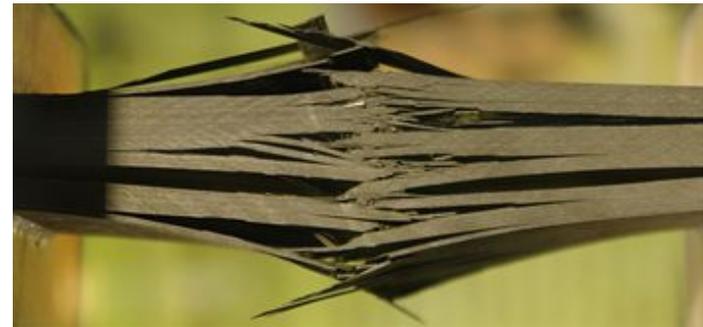
4. СЛОИСТЫЕ КОМПОЗИТЫ (ламинаты)

Слоистые композиты представляют структуру типа «слоеный пирог», где в качестве слоев выступают различные материалы.

Основное преимущество слоистых композитов - это способность обеспечить сложный набор требуемых свойств в заданных направлениях



Слоистый композит



Пример расслоения

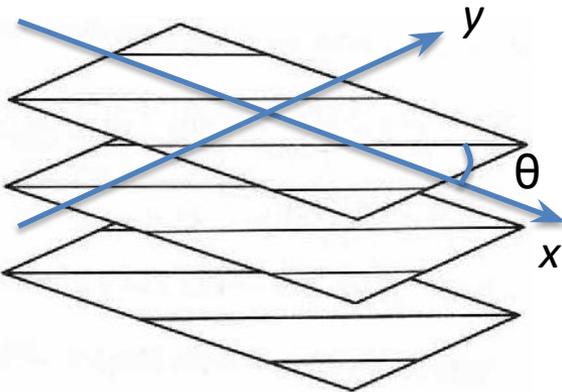
Среди слоистых композитов различают *однонаправленные композиты*, где волокна направлены под одинаковыми углами θ во всех слоях. У перекрестно-армированных композитов углы укладки волокон чередуются в чередующихся слоях. Например, в композите с укладкой $[\pm\theta]$, где $0^\circ < \theta < 90^\circ$, один слой направлен под углом $+\theta$, а другой под углом $-\theta$; а в композите с укладкой $[\pm\theta]_2$, индекс 2 обозначает удвоение структуры, то есть слои чередуются следующим образом $[+\theta/-\theta/+ \theta/-\theta]$. У ортогонально-армированных композитов в чередующихся слоях чередуется продольное и поперечное направление укладки волокон (например, $[0^\circ/90^\circ/0^\circ/90^\circ]$, или, если записать короче $[0^\circ/90^\circ]_2$).

ВВЕДЕНИЕ В ПРЕДМЕТ.

4. Классификация композитов.

СЛОИСТЫЕ КОМПОЗИТЫ

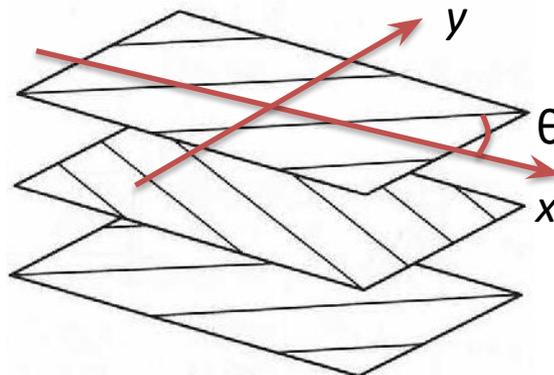
Однонаправленный
композит



$$[\theta/\theta/\theta] = [\theta]_3$$



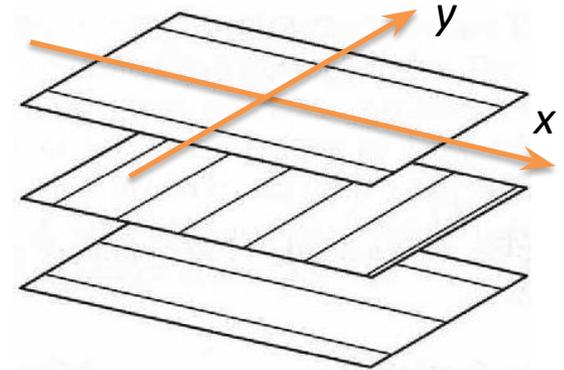
Перекрестно-
армированный
композит



$$[+\theta/-\theta/+\theta]$$



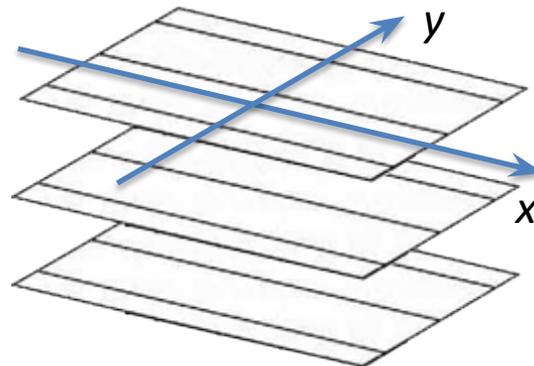
Ортогонально-
армированный
композит



$$[0/90/0]$$

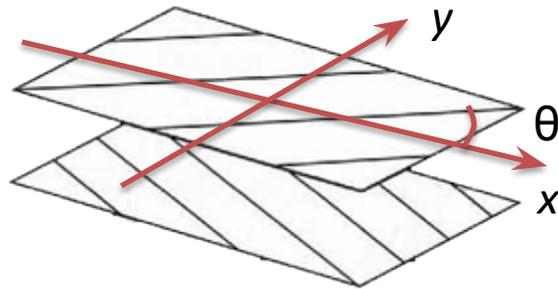


1. Однонаправленный композит
(дополнительная картинка - пример)



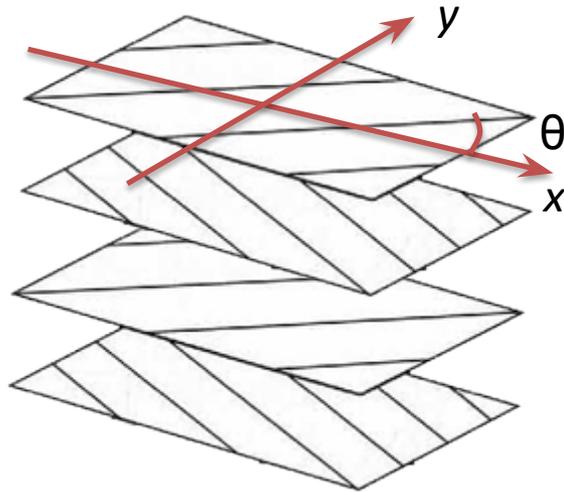
$$[0/0/0] = [0]_3$$

2. Перекрестно-армированный композит (дополнительная картинка - пример)



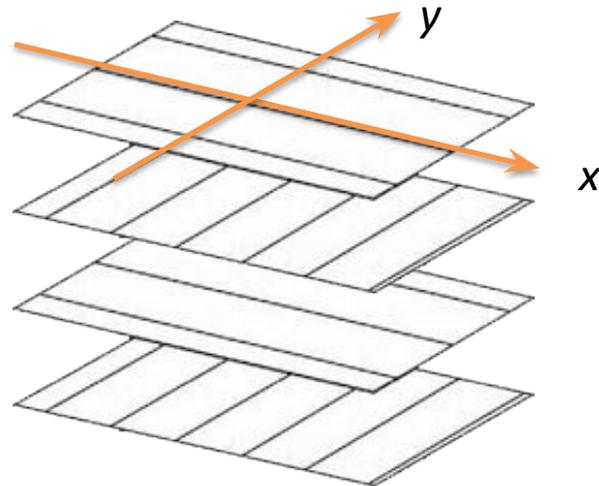
$$[+\theta/-\theta] = [\pm\theta]$$

2. Перекрестно-армированный композит
(еще одна дополнительная картинка - пример)



$$[+\theta/-\theta/+\theta/-\theta] = [\pm\theta]_2$$

3. Ортогонально-армированный композит
(дополнительная картинка - пример)



$$[0/90/0/90] = [0/90]_2$$

По структуре также слоистые композиты делят на симметричные композиты, у которых укладка слоев симметрична относительно некоторой плоскости и несимметричные, где симметрия отсутствует.

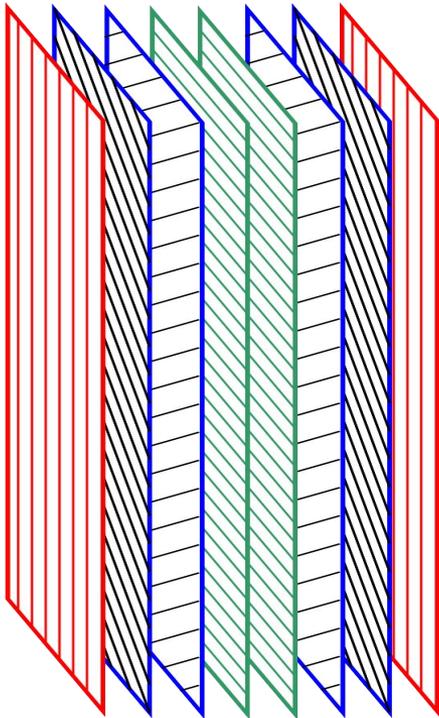
Например: композит с укладкой $[0/\pm 45/90/90/\pm 45/0]$ – это типичный симметричный композит. Здесь для сокращения записи можно использовать индекс S как символ симметрии, например $[0/\pm 45/90]_S$. А в случае, когда центральный слой не дублируется $[0/\pm 45/90/\pm 45/0]$ используют нижнее подчеркивание $[0/\pm 45/\underline{90}]_S$.

ВВЕДЕНИЕ В ПРЕДМЕТ.

4. Классификация композитов.

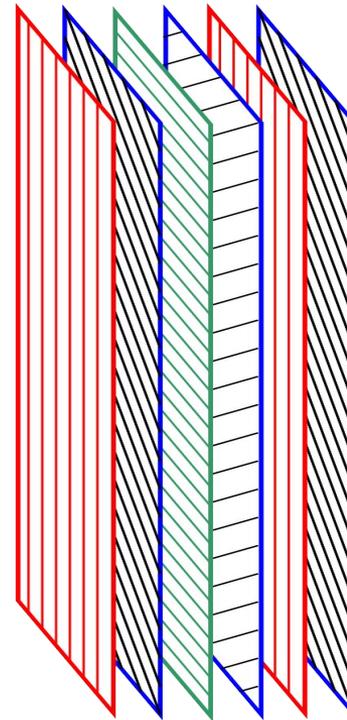
СЛОИСТЫЕ КОМПОЗИТЫ

Симметричные композиты



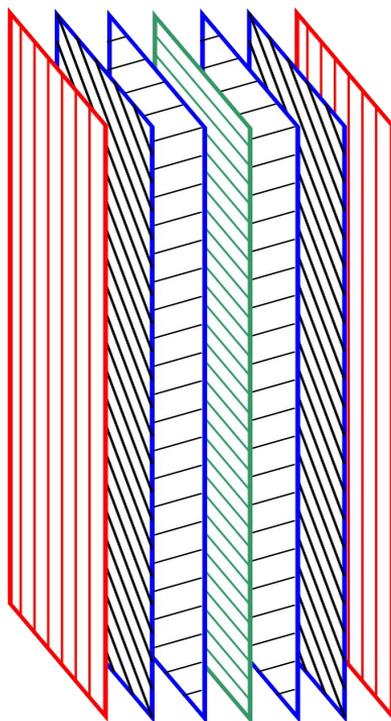
$$[0/\pm 45/90/90/\pm 45/0]_s \quad \rightarrow$$

Несимметричные композиты



$$[0/+\theta_1/90/-\theta_2/0/+\theta_3]$$

Симметричные композиты
(дополнительная картинка -
пример)



$$[0/\pm 45/90/\pm 45/0] = [0/\pm 45/\underline{90}]_s$$

Сэндвич композиты представляют собой особый класс композитов, где две тонкие, но жесткие панели соединяют друг с другом при помощи легкого заполнителя, толщина которого значительно превышает толщину соединяемых панелей.

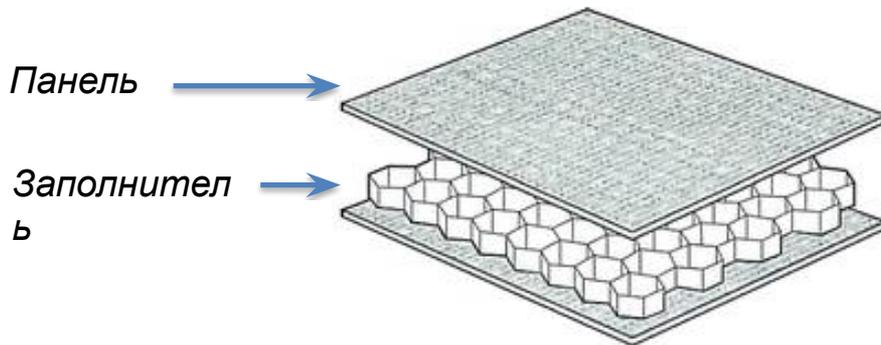
В качестве панелей обычно используют металлические листы (чаще всего, это алюминий или титан) или волокнистые композиты, а в качестве заполнителя – пену из полиуретана, поливинилхлорида или полиэтилена, древесину бальзового дерева или сотовый заполнитель, изготовленный из композитного материала, или металла.

ВВЕДЕНИЕ В ПРЕДМЕТ.

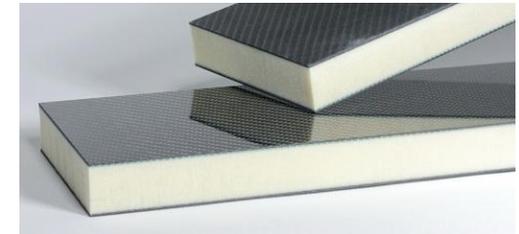
4. Классификация композитов.

5. СЭНДВИЧ КОМПОЗИТЫ (трехслойные панели)

В сэндвич композитах две тонкие, но жесткие панели соединены друг с другом при помощи легкого заполнителя, толщина которого значительно превышает толщину соединяемых панелей.



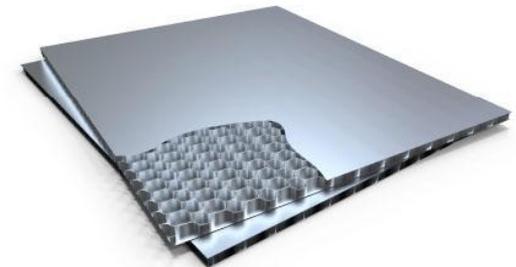
Композитные панели + пенный наполнитель



Деревянные панели + деревянный наполнитель



Металлические панели + сотовый наполнитель



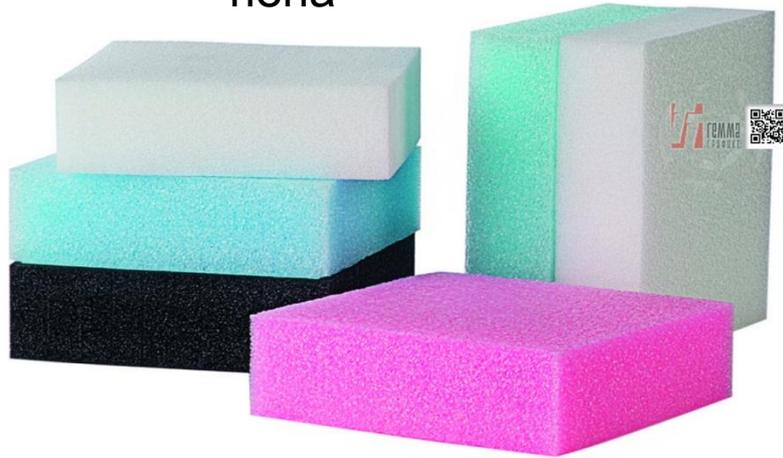
Панели:

- металлические листы
- волокнистые композиты
- дерево

Заполнитель:

- полимерная пена
- древесина (бальзовое дерево)
- сотовый наполнитель

Полимерная
пена

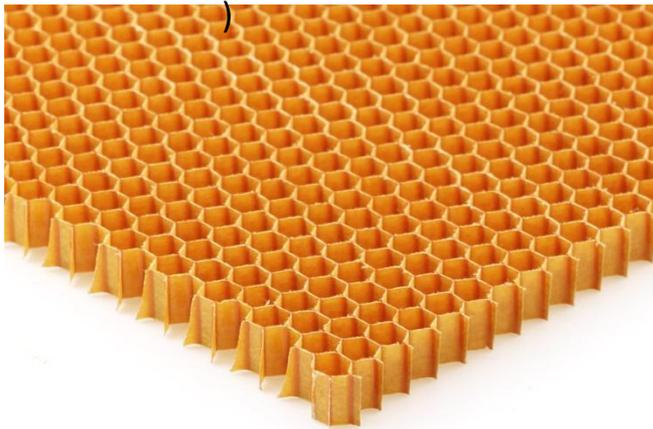


Древесина бальзового
дерева

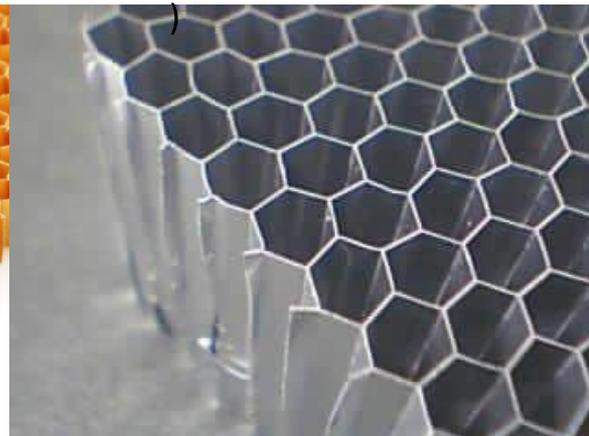


Сотовый
заполнитель

(композитный



(алюминиевый



Основное преимущество сэндвич композитов состоит в том, что обладая низким весом, они демонстрируют повышенную жесткость при изгибе.

ВВЕДЕНИЕ В ПРЕДМЕТ.

3. Классификация композитов.

5. СЭНДВИЧ КОМПОЗИТЫ

Основное преимущество сэндвич композитов – отличная сопротивляемость изгибу при малом весе

Изгиб сотовой панели



Изгиб лыж при карвинге

