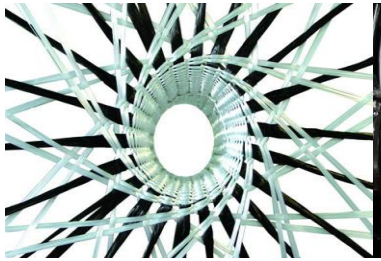
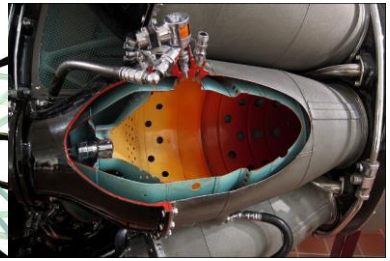
ПОЛИТЕХ
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Современная цифровая образовательная среда в РФ

Технет
Национальная технологическая инициатива

ЦЕНТР НТИ СПбПУ
НОВЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

ПОЛИТЕХ
Институт передовых производственных технологий

CML
CompMechLab
ЦЕНТР КОМПЬЮТЕРНОГО ИНЖИНИРИНГА СПбПУ

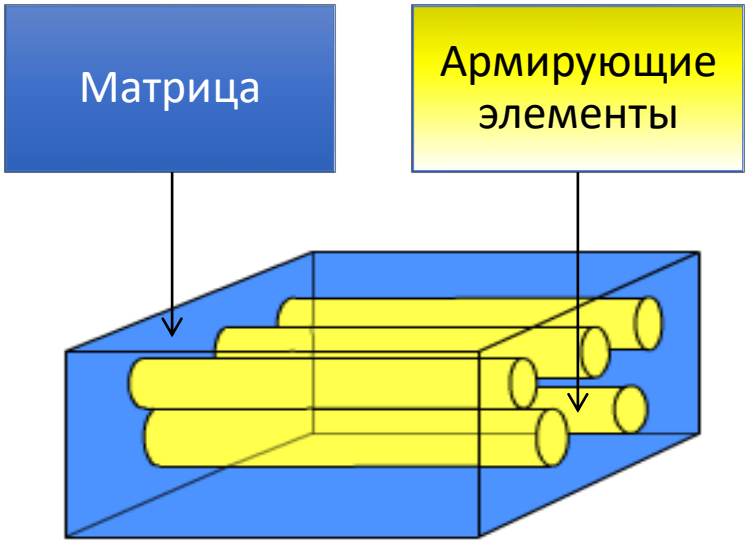
Северо-Западный региональный центр компетенций в области онлайн-обучения

Тема 6.1. Композитные материалы

Терещенко Владислав Владимирович
Ассистент ИППТ

Понятие о композитах

КОМПОЗИТЫ – это неоднородные материалы, состоящие из нескольких компонентов с четкой границей раздела между ними



Основные функции *армирующих элементов*:

- обеспечение прочности материала
- обеспечение жесткости материала

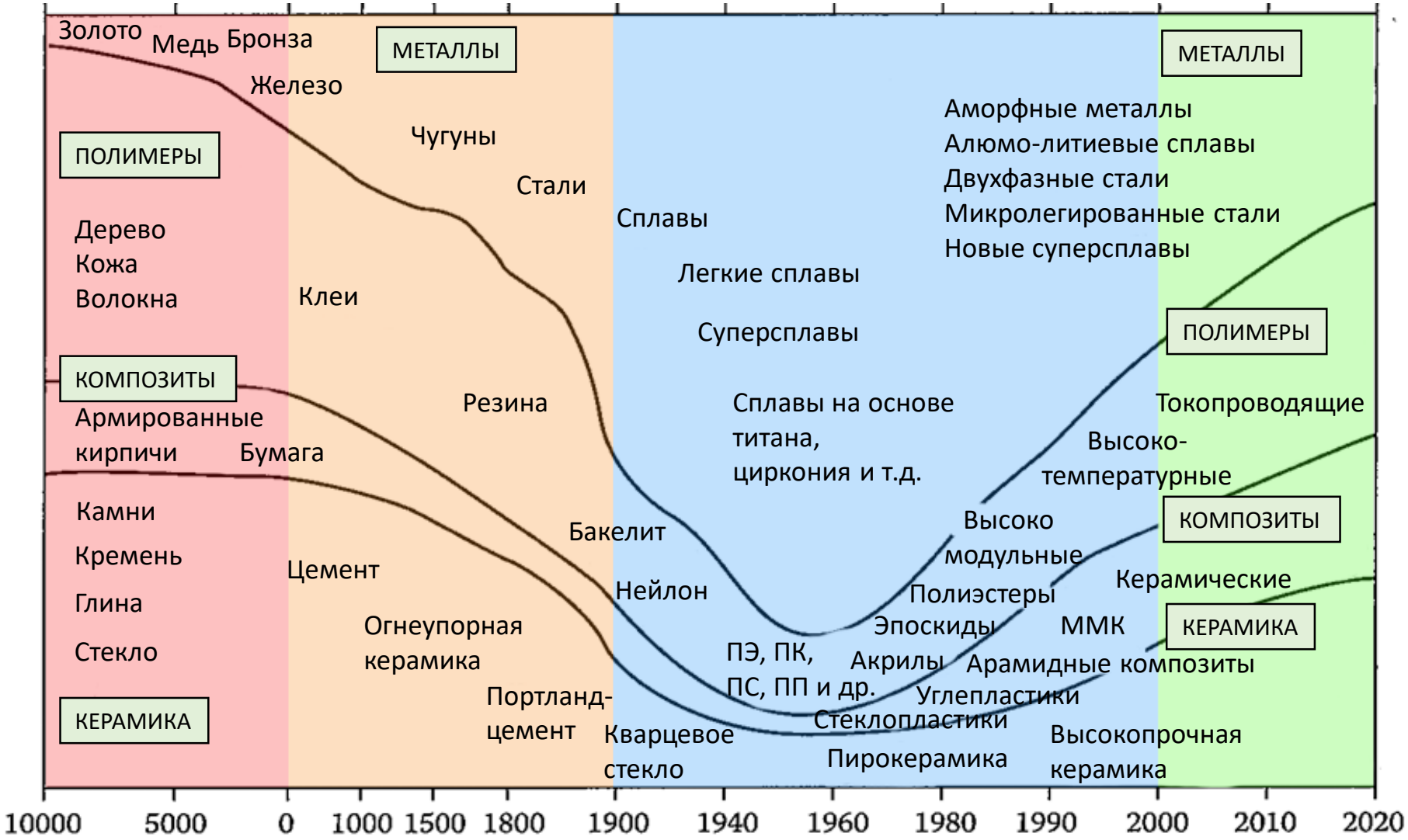
Основные функции *матрицы*:

- обеспечение совместной работы армирующих элементов
- защита армирующих элементов от агрессивного воздействия окружающей среды

Типичный композит

Роль композитов в техническом прогрессе

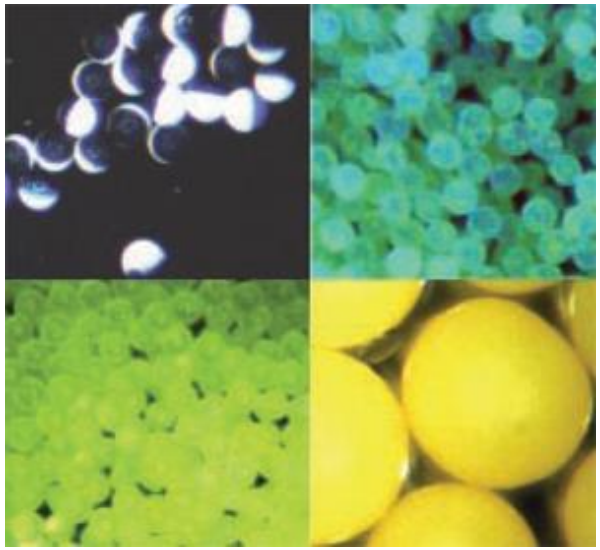
Относительная доля материалов, используемых человеком в процессе эволюции



Классификация композитов

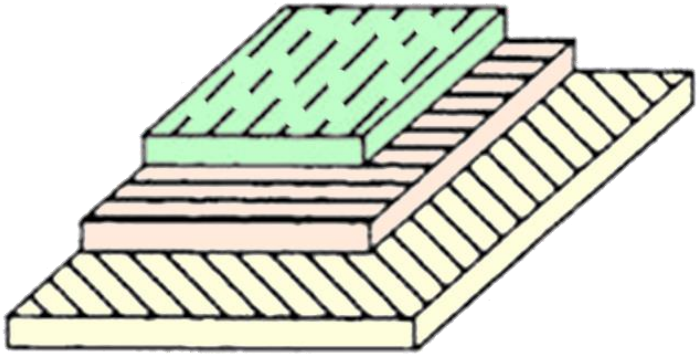
Волокнистые композиты

Композиты, упрочненные частицами

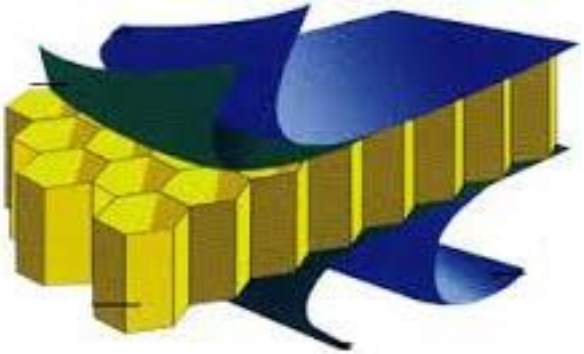


Нанокомпозиты

Слоистые композиты



Сэндвич композиты
(трехслойные конструкции)



Волокнистые композиты

Армирующие элементы – волокна высокой прочности и жесткости

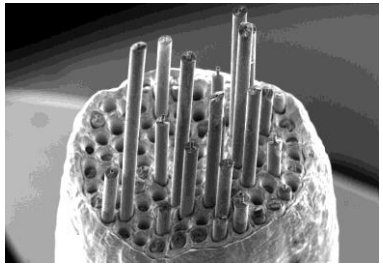
Армирующие материалы:

- *Стекловолокна*
- *Углеродные волокна*
- *Арамидные волокна*

Материалы матриц:

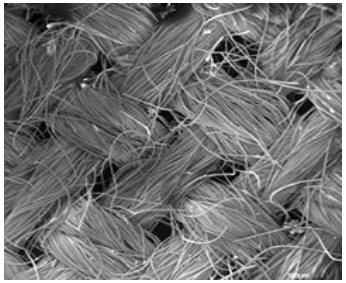
- *Полимеры*
- *Металлы*
- *Керамика*

Непрерывные (длинные) волокна

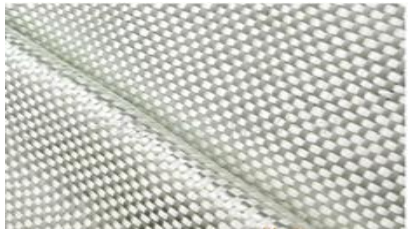


Короткие (рубленные) волокна

Ткань

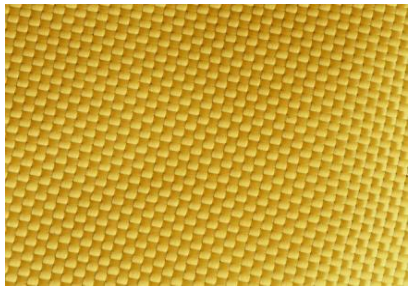


Ткань из стекловолокон (стеклоткань)



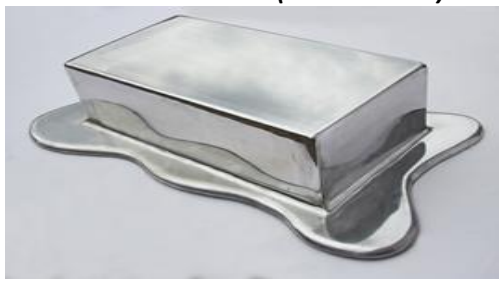
Ткань из углеродных волокон

Ткань из арамидных волокон



Эпоксидная смола (полимер)

Алюминий (металл)

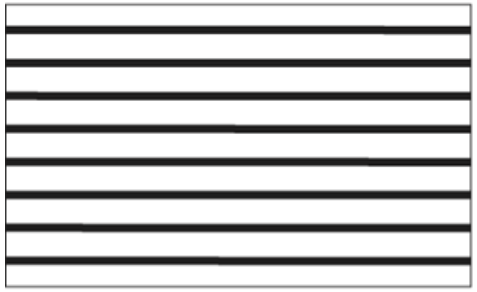


Оксид алюминия (керамика)

Волокнистые композиты

ВОЛОКНИСТЫЕ КОМПОЗИТЫ

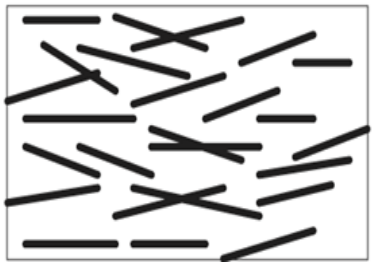
Длинные волокна



Однонаправленный композит, армированный длинными волокнами

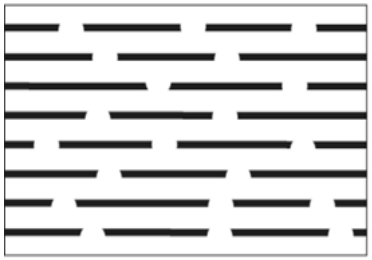
Короткие волокна

Хаотичное расположение



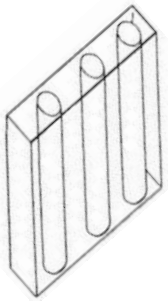
Хаотично армированный композит (ХАСП)

Ориентированное расположение

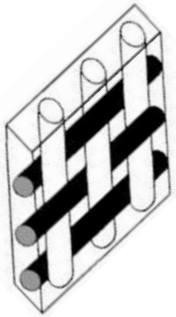


Однонаправленный композит, армированный короткими волокнами

Одномерно армированные



Двумерно армированные



Пространственно армированные

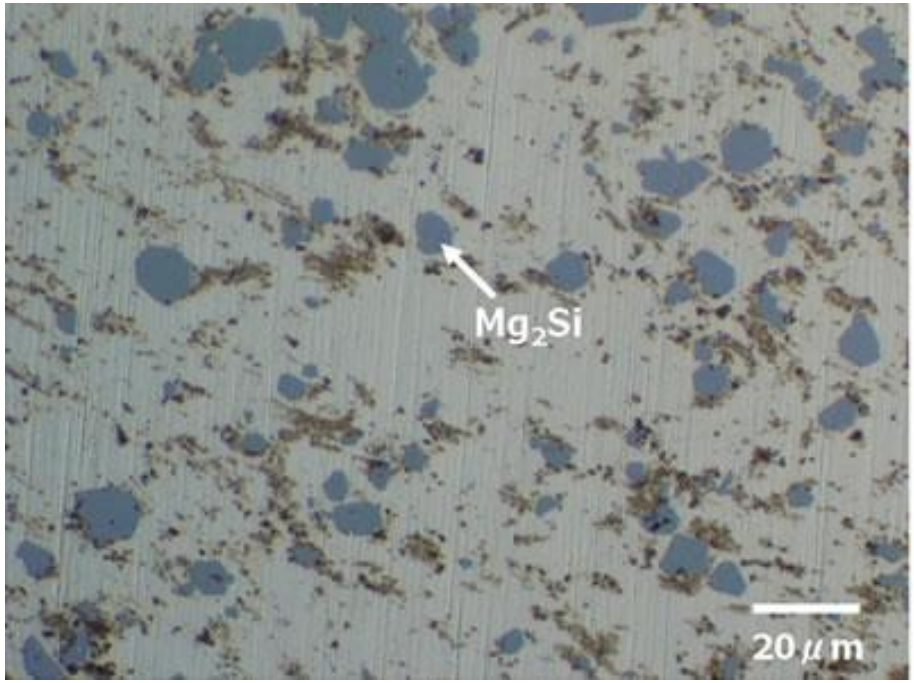
КОМПОЗИТЫ, УПРОЧНЕННЫЕ ЧАСТИЦАМИ

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



<u>Матрица</u> - магниевый сплав
<u>Частицы</u> - Mg_2Si
Добавление частиц снижает износ материала

КОМПОЗИТЫ, УПРОЧНЕННЫЕ НАНОЧАСТИЦАМИ

Нанокомпозиты – это композитные материалы, у которых средний размер частиц наполнителя не превышает 100 нм.
Объемная доля наполнителя – порядка 2-5%.

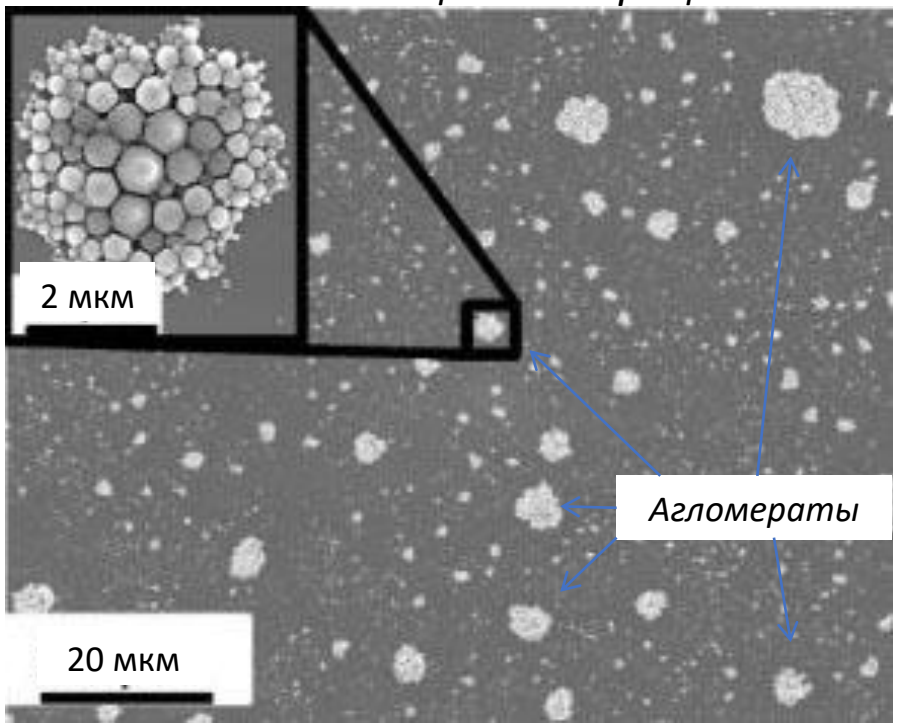
Преимущества - уникальные механические, термические, электрические и оптические свойства

Основной недостаток – тенденция к возникновению агломератов

Материалы наночастиц:

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

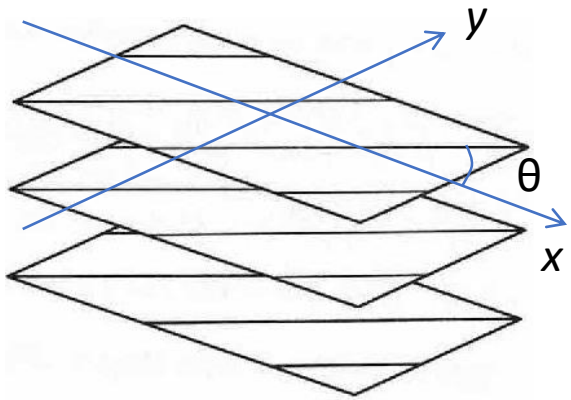
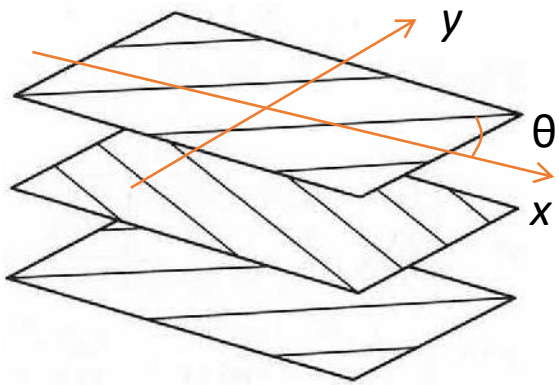
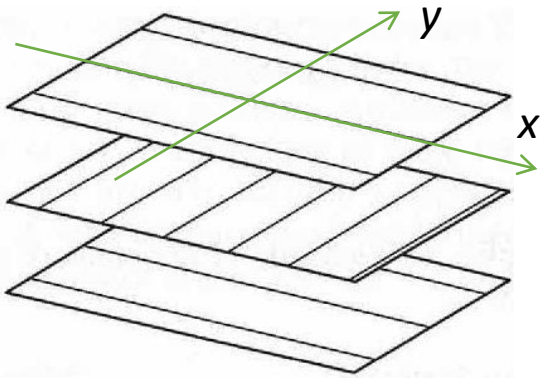
Наночастицы в матрице



СЛОИСТЫЕ КОМПОЗИТЫ

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

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

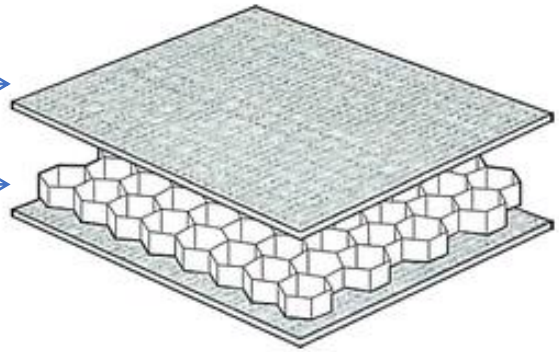
Однонаправленный композит	Перекрестно-армированный композит	Ортогонально-армированный композит
		
$[\theta/\theta/\theta] = [\theta]_3$	$[+\theta/-\theta/+\theta]$	[0/90/0]

СЭНДВИЧ КОМПОЗИТЫ

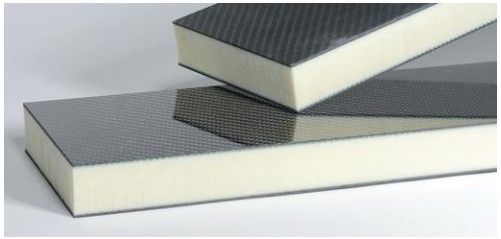
В сэндвич композитах две тонкие, но жесткие панели соединены друг с другом при помощи легкого заполнителя, толщина которого значительно превышает толщину соединяемых панелей.

Панель

Заполнитель

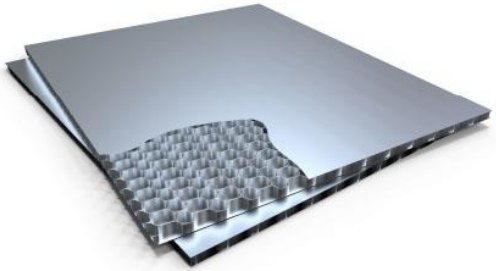


Композитные панели + пенистый заполнитель



Деревянные панели + деревянный заполнитель

Металлические панели + сотовый заполнитель



<u>Панели:</u>

- металлические листы
- волокнистые композиты
- дерево

<u>Наполнитель:</u>

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

Основное преимущество сэндвич композитов – отличная сопротивляемость изгибу при малом весе

Особенности композитов

Анизотропия

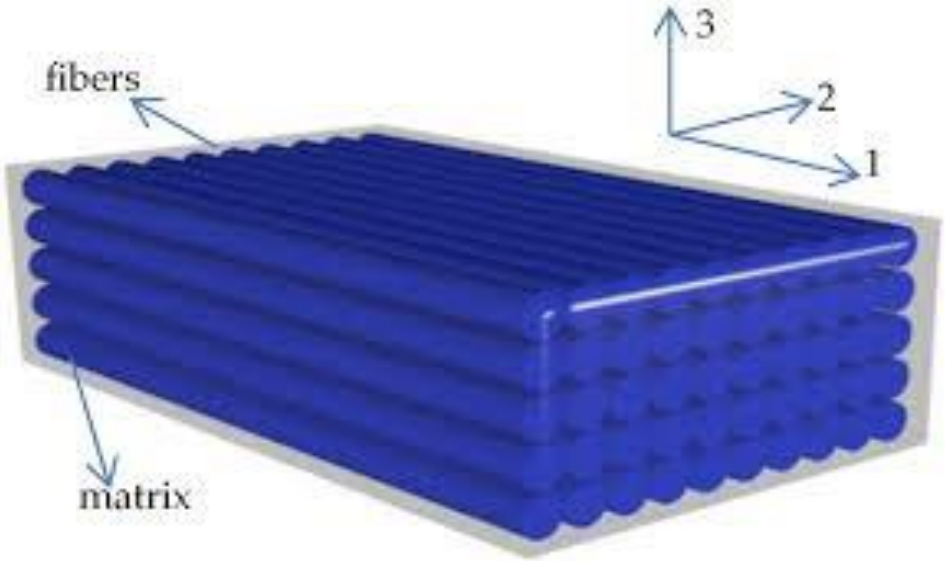
Металлические материалы и сплавы, традиционные для машиностроения, обычно демонстрируют одинаковые свойства в различных направлениях, то есть они изотропны.

Свойства волокнистых композитов заметно зависят от направления измерения, то есть эти материалы ярко выраженной анизотропией свойств.

У однонаправленного волокнистого композита все волокна расположены в одном направлении – ***продольное направление***.

Направление, перпендикулярное продольному называют поперечным или ***трансверсальным***.

Однонаправленный композит



Особенности композитов

Удельная прочность – это характеристика прочности материала (то есть его способности выдерживать внешние нагрузки, не разрушаясь)

$$\text{Удельная прочность} = \frac{\text{Прочность}}{\text{Плотность}}$$

Удельный модуль – это характеристика жесткости материала (то есть его способности выдерживать внешние нагрузки, не меняя существенным образом размеры)

$$\text{Удельный модуль} = \frac{\text{Модуль}}{\text{Плотность}}$$

Основное преимущество композитов по сравнению со сталями и сплавами - высокие значения удельной прочности и удельного модуля

<u>Высокомодульный углепластик на основе эпоксидной матрицы:</u>

Модуль упругости вдоль волокон	= 215 ГПа
Плотность	= 1,63 г/см^3
УДЕЛЬНЫЙ МОДУЛЬ	= **132** МН·м/кг

<u>Углеродистая сталь SAE 1010:</u>

Модуль упругости	= 207 ГПа
Плотность	= 7,87 г/см^3
УДЕЛЬНЫЙ МОДУЛЬ	= **26** МН·м/кг

Удельный модуль высокомодульного углепластика практически в 5 раз выше удельного модуля углеродистой стали!

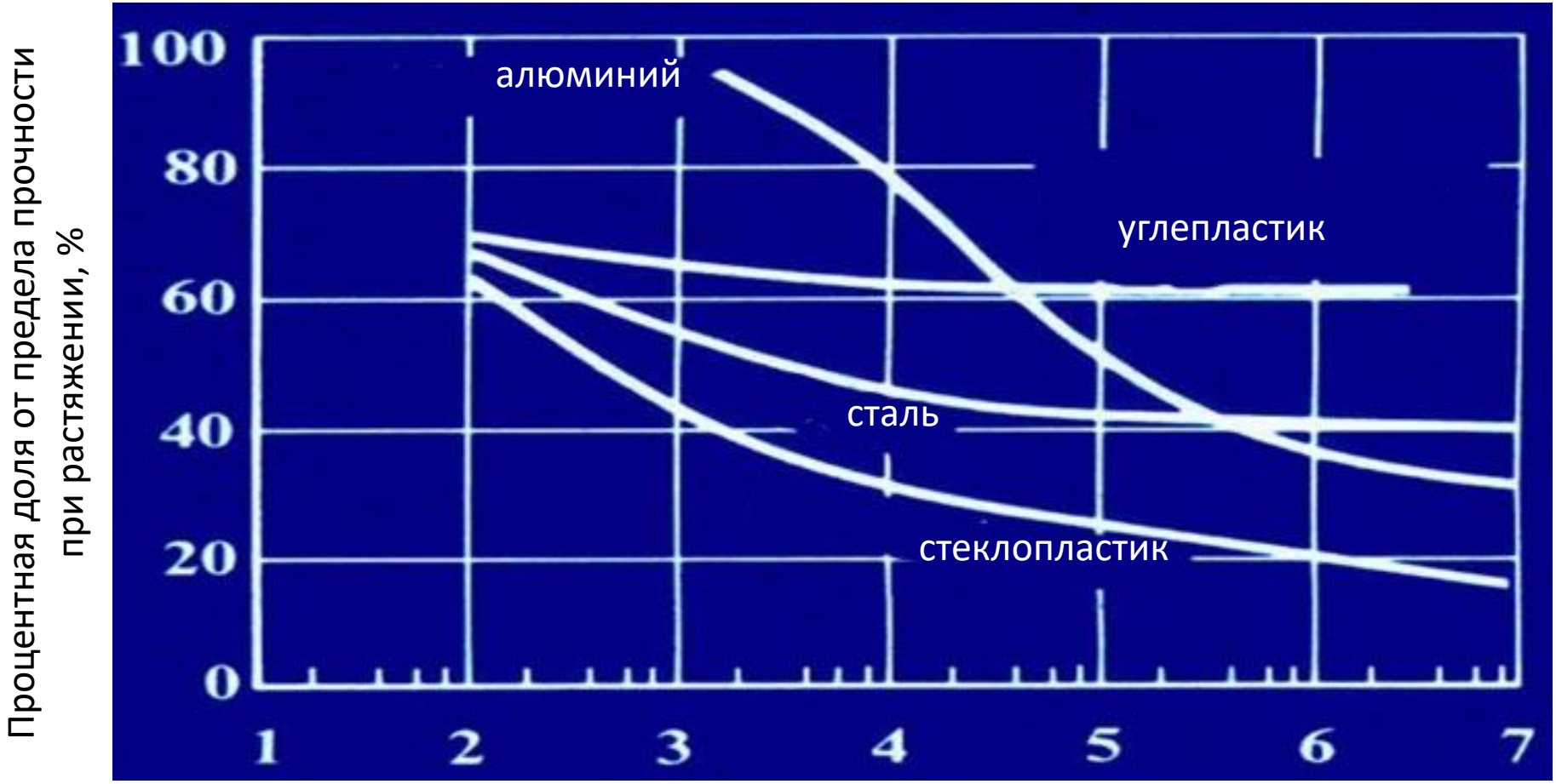
Особенности композитов

Материал	Плотность, г/см³	Модуль упругости*, ГПа	Прочность при растяжении*, МПа
Традиционные материалы			
SAE 1010 сталь	7.87	207	365
AISI 4340 сталь	7.87	207	1722
6061-T6 алюминиевый сплав	2.70	68.9	310
7178-T6 алюминиевый сплав	2.70	68.9	606
Ti-6A1-4V титановый сплав	4.43	110	1171
17-7 PH нержавеющая сталь	7.87	196	1619
INCO 718 никелевый сплав	8.20	207	1399
Композиты			
Высокопрочный углепластик (однонаправленный)	1.55	137.8	1550
Высокомодульный углепластик (однонаправленный)	1.63	215	1240
E-glass стеклопластик (однонаправленный)	1.85	39.3	965
Kevlar 49 (однонаправленный)	1.38	75.8	1378
Волокна бора - 6061 A1 сплав	2.35	220	1109
Квази-изотропный углепластик	1.55	45.5	579
ХАСП (изотропный материал)	1.87	15.8	164

Особенности композитов

Сопротивление усталости

Кривые усталости некоторых материалов



Углепластик великолепно сопротивляется усталости!

Особенности проектирования

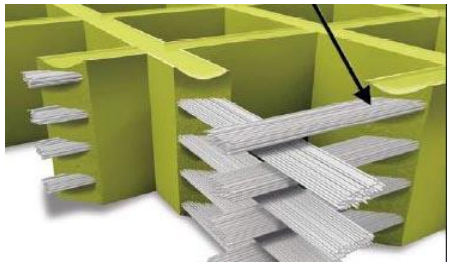
Использование композитов позволяет:

- **упрочнять** конструкцию в наиболее нагруженных местах и направлениях
- **повышать жесткость конструкции** в заданных направлениях
- изготавливать **сложные изогнутые поверхности** за одну операцию
- проектировать конструкции с **нулевым коэффициентом теплового расширения**

Сэндвич композит

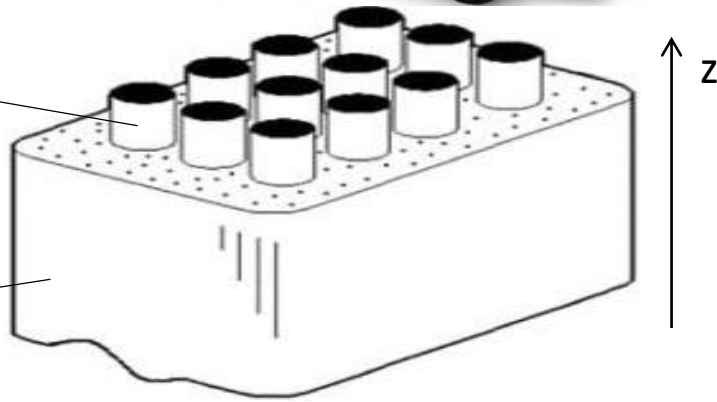
обшивки – триплекс, заполнитель - пластиковые стаканчики

Стекловолокна в полимерной матрице



Волокна повышают жесткость и прочность элементов конструкции в направлении армирования

Концепткар от Total Petrochemicals



Волокна с отрицательным коэффициентом теплового расширения вдоль оси z

Матрица с положительным коэффициентом теплового расширения

Особенности проектирования

Внутреннее демпфирование

Композиты, обладающие повышенными характеристики внутреннего демпфирования, используют для шумоподавления и шумоизоляции

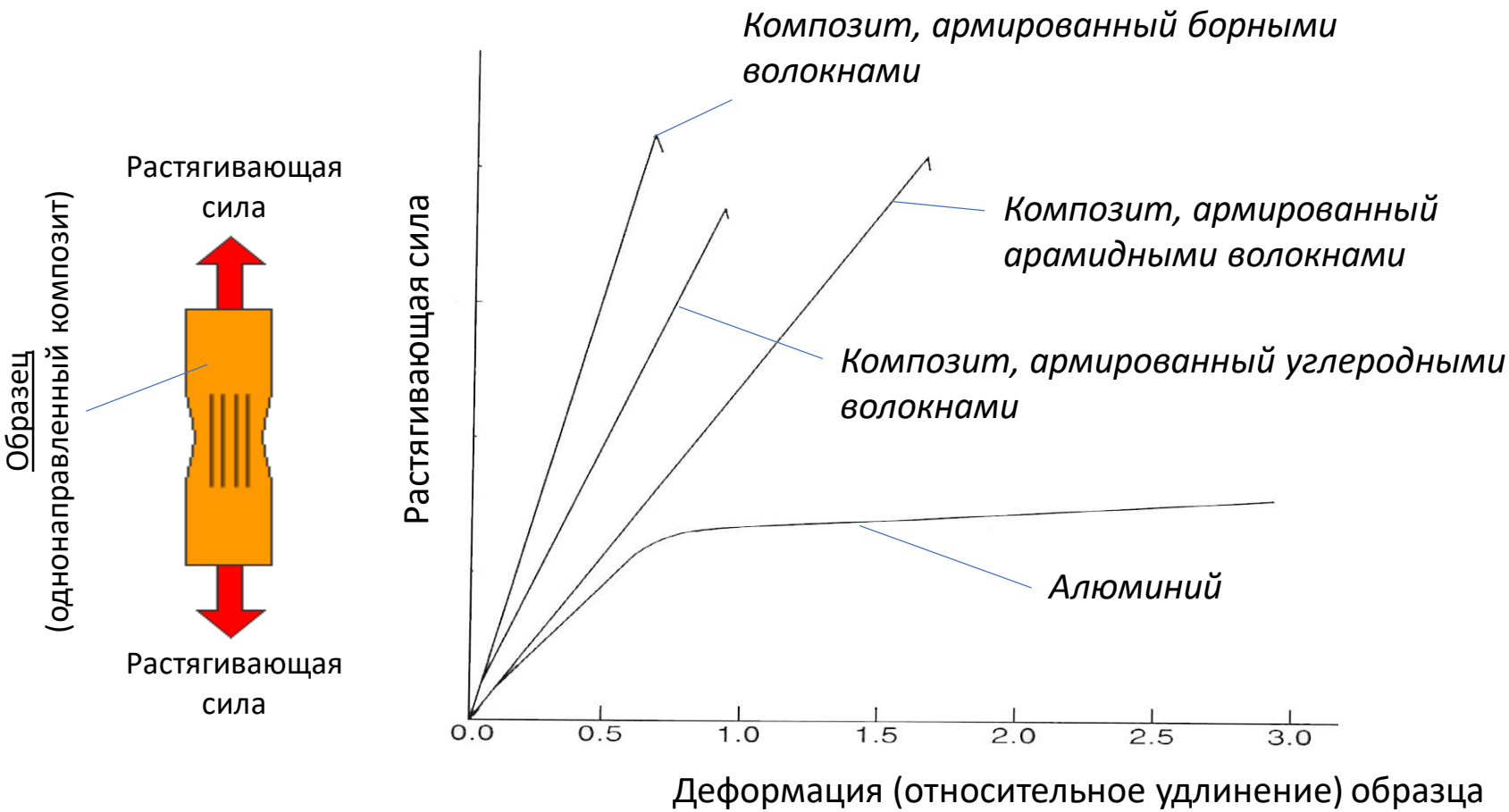
Влияние окружающей среды

Неметаллические композиты не подвержены коррозии

Влага
Высокие температуры
Агрессивные жидкости
Ультафиолетовое излучение
Окисление матрицы

→ Деградация механических свойств некоторых композитов

Механизм деформирования и разрушения



При растяжении вдоль волокон композиты демонстрируют хрупкое поведение (деформации не превышают 2%) в отличие от сталей и сплавов, являющихся пластичными материалами (деформации сталей могут достигать 50%, то есть образец удлиняется в 1,5 раза)

Особенности изготовления

Технологии изготовления композитов требуют значительно более низких давлений и усилий по сравнению с теми , что используются при изготовлении металлических конструкций

Гидравлический кузнечный пресс для изготовления металлических деталей

Машина для изготовления композитных деталей методом RTM

Кроме машинного, возможно ручное изготовление композитных деталей (контактное формование и напыление)

Особенности изготовления

Интеграция нескольких деталей в один элемент

Композитный корпус автомобиля - единая деталь, изготовленная за одну операцию

Композитный корпус лодки - единая деталь, изготовленная за одну операцию

Области применения композитов

Благодаря своим многочисленным преимуществам композиты применяются практически во всех отраслях современной промышленности, например:

- Авиация и ракетостроение;
- Транспортная индустрия;
- Судостроение и морская промышленность;
- Строительство;
- Ветроэнергетика;
- Спорт;
- Оборонная промышленность;
- Медицина;
- Потребительские товары.

Спасибо за внимание