

PHU2782 - СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ НАУК О МАТЕРИАЛАХ И ПРОЦЕССАХ

Лекция-7

Основные виды материалов.

7M07103 – Материаловедение и технология новых материалов

5 кредита (2/0/1/2)

Семестр: 3, весенний, 2025-2026 учебный год

лектор: Керимкулова Алмагуль Рыскуловна – к.х.н., ассоц.профессор

Лекция-7

Основные виды материалов.

- **Цель лекции**
- Дать обучающимся системные знания о современных физических, химических, электрохимических, биотехнологических и комбинированных методах получения функциональных материалов и наноструктур, объяснить их структуру и свойства в зависимости от способа синтеза, а также сформировать навыки применения полученных знаний в различных областях науки и производства (катализ, энергетика, экология, биомедицина, электроника).
- **Задачи лекции**
- Сформировать теоретические знания о основных методах получения функциональных материалов и наноструктур (физических, химических, электрохимических, биотехнологических).
- Объяснить особенности, преимущества и ограничения этих методов путем сравнительного анализа.
- Показать влияние методов на морфологию, фазовый состав и функциональные свойства синтезированных продуктов.
- Познакомить студентов с методами синтеза, применяемыми в лабораторных и промышленных условиях.
- Обучить использованию современных структурных, спектроскопических и микроскопических методов анализа.
- Пояснить роль экологически чистых и энергоэффективных технологий, а также их соответствие целям устойчивого развития (ЦУР).
- Развить навыки участия в междисциплинарных проектах по проектированию и анализу функциональных материалов с применением информационных технологий и искусственного интеллекта.
- Оценить научную и производственную значимость, а также аспекты безопасности и эффективности получения функциональных материалов и наноструктур.

Классификация материалов

Металлы и сплавы	Полимеры	Керамика и стекло	Композиты	Натуральные материалы
Железо и стали Алюминий и его сплавы Медь и её сплавы Никель и его сплавы Титан и его сплавы	Полиэтилен (PE) Полиметилметакрилат (PMMA) Нейлон или полиамид (PA) Полиэстер (PS) Полиуретан (PU) Поливинилхлорид (PVC) Полиэтилентерефталат (PET) Полиэфирэфиркетон (PEEK) Эпоксидная смола (EP) Эластомеры или натуральная резина (NR) Полилактид (PLA)	Магниева (MgO) Алюминиевая (Al₂O₃) Силикаты и стекло (SiO₂) Циркониевая (ZrO₂) Карбид кремния (SiC) Нитрид кремния (Si₃N₄) Цемент и бетоны	Стекловолокно Армированные полимеры углеродным волокном Наполненные полимеры Керметы Композитная керамика	Дерево Кожа Хлопок/шерсть/шёлк Кость Камень Песок

Свойства материалов, определяющие их конструирование

Материал	Хорошие свойства	Удовлетворительные свойства
МЕТАЛЛЫ	Твердые ($E \approx 100 \text{ ГН м}^{-2}$)	Пр. текучести (чистый, $\sigma_T \approx 1 \text{ МН м}^{-2}$) сплав
Высокие E, K_{Ic}	Пластичные ($\epsilon_f \approx 20\%$)	Твердость ($H \approx 3\sigma_T$) → сплав
Низкий σ_T	Вязкие (K_c) $> 50 \text{ МН м}^{-3/2}$	Усталость ($\sigma_e = \frac{1}{2}\sigma_T$)
	Высокая темп. плавления ($T_m \approx 1000 \text{ С}$)	Коррозионная стойкость → покрытия
КЕРАМИКА	Жесткие ($E \approx 200 \text{ ГН м}^{-2}$)	Очень низкая вязкость ($K_c \approx 2 \text{ МН м}^{3/2}$)
Высокие E, σ_T	Очень высокие твердость и	Пластичность → порошковые методы
Низкий K_{Ic}	Пр. текучести ($\sigma_T > 3 \text{ ГН м}^{-2}$) Высокая темп. плавления ($T_m \approx 2000 \text{ С}$) Коррозионностойкие, средней плотности	
ПОЛИМЕРЫ	Пластичные	Низкая жесткость ($E \approx 2 \text{ ГН м}^{-2}$)
Нормальные σ_T, K_{Ic}	Коррозионностойкие	Пр. текучести ($\sigma_T = 2-100 \text{ МН м}^{-2}$)
Низкий E	Низкой плотности	Низкая температура ($T_g = 100 \text{ С}$) → ползучесть Вязкость, часто низкая ($K_c \approx 1 \text{ МН м}^{-3/2}$)
КОМПОЗИТЫ	Жесткие ($E > 50 \text{ ГН м}^{-2}$)	Пластичность
Высокие E, σ_T, K_{Ic}	Прочные ($\sigma_T \approx 200 \text{ МН м}^{-2}$)	Дорогие
Дорогие	Вязкие ($K_c > 20 \text{ МН м}^{-3/2}$) Усталостная прочность, коррозионностойкие, низкая плотность	Ползучесть (полимер-матричные композиты)

Основные представления современного материаловедения



Классификация композитов



Композиционные материалы

- Относятся к новому классу легких высокопрочных материалов с высокой трещиностойкостью. Комплекс свойств композитов определяется заранее и реализуется в процессе изготовления. Этими свойствами не обладают отдельные компоненты. Для оптимизации свойств выбирают компоненты с резко отличающимися (по модулям упругости), но дополняющими друг друга свойствами
- Матрица – пластичная основа, обеспечивающая монолитность материала в целом (полимерные, углеродные, керамические и металлические материалы)
- Наполнители (упрочнители) – для упрочнения (армирующие компоненты). Обладают прочностью, твердостью и модулем упругости высокими • Чем выше эти характеристики у наполнителей, тем выше соответствующие свойства композита, хотя они и не достигают характеристик наполнителя
- По типу упрочняющих наполнителей композиционные материалы делят на дисперсноупрочненные, волокнистые и слоистые

Свойства и структура композитов

- По удельным жесткости и прочности КМ превосходят металлы и их сплавы, что позволяет снизить массу деталей при сохранении их конструкционной прочности. Самолето- и ракетостроение .
- Прочность сцепления обеспечивается диффузионными процессами и химическими реакциями на границе раздела волокон наполнителя и матрицы. Процессы протекают при изготовлении и использовании композитов
- В металлических композитах прочная связь между волокном и матрицей обеспечивается их взаимодействием с образованием тонкого слоя интерметаллидных фаз. Если взаимодействия нет, на поверхность волокон наносят специальные покрытия. Корпуса и камеры сгорания реактивных двигателей
- В неметаллических композитах связь между компонентами осуществляется за счет адгезии (межмолекулярного взаимодействия). Высокопрочные борные, углеродные и керамические волокна имеют низкую адгезию с матрицей. Улучшение адгезии достигается травлением волокон или вискеризацией. На поверхности волокон после обработки образуется «ворс».

Вискеризация – выращивание монокристаллов карбида кремния на поверхности углеродных, борных волокон перпендикулярно их длине

Типы матриц КМ

Композиционные материалы с неметаллической матрицей: полимерные, углеродные и керамические

- **Полимерные** – гетерофазные композиционные материалы с непрерывной полимерной фазой (матрицей), в которой хаотически или в определенном порядке распределены твердые, жидкие или газообразные наполнители
- Эти вещества заполняют часть объема матрицы, сокращая расход дефицитного или дорогостоящего сырья и/или модифицируют композицию, придавая ей нужные качества, обусловленные назначением, особенностями технологических процессов производства и переработки, условиями эксплуатации изделий
- К ним относятся подавляющее большинство пластмасс, резин, лакокрасочных материалов, полимерных компаундов, клеев
- Получают заливкой жидкого полимера в приготовленную форму с уложенным волокнистым наполнителем. Быстрое твердение и низкий коэфф. диффузии дает отсутствие переходного слоя между компонентами.
- Преимущества: технологичность, низкая плотность, высокие удельная прочность и жесткость, коррозионная стойкость. Недостатки: потеря прочности при нагреве выше 100-200 °С, низкая электропроводность

Композиционные материалы с металлической матрицей

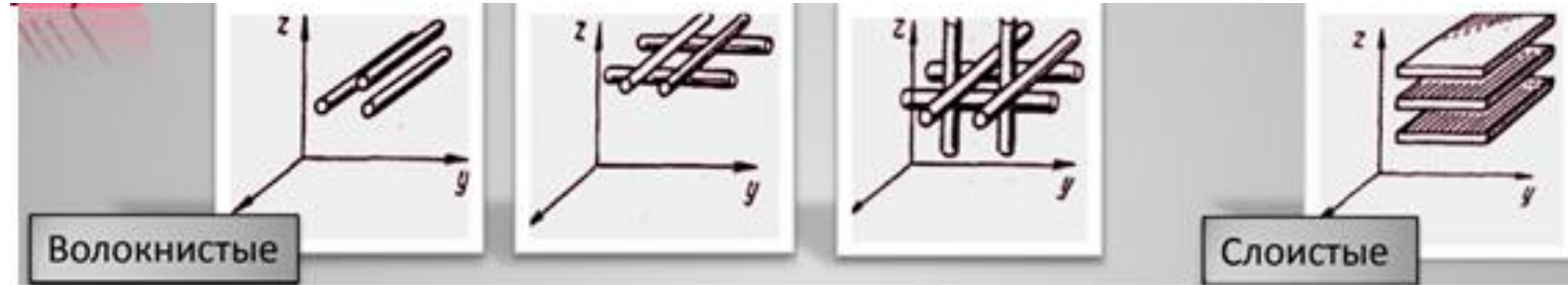
- Получение осуществляется: – прессованием волокон в порошке – пропиткой волокон жидким металлом – предварительным осаждением материала матрицы на волокна с последующим прессованием и спеканием – горячим формованием – спеканием • Основная проблема - достижение равномерного смешивания волокон и матрицы
- Металлическая матрица в жидком состоянии должна хорошо смачивать волокна наполнителя, т.к. низкая их смачиваемость при пропитке приводит к порообразованию в композите. Пропитка волокон - как за счет капиллярных сил, поднимающих жидкую матрицу по капиллярам между волокнами, так и при заливке сверху
- Преимущество: высокие тепло- и влагостойкость, более высокие характеристики в направлении, перпендикулярном оси армирующих волокон (модуль упругости, прочность, пластичность и вязкость разрушения)
- Целесообразно применять Al, Mg, Ti металлы и сплавы с невысокой плотностью. Для матриц жаропрочных сплавов широко используют никель. Например, Al композит КАС-1 армированный стальной проволокой имеет низкую стоимость упрочнителя и лучшие значения тепло- и электропроводности

Виды армирующих материалов

- **Металлическая проволока** - наиболее дешевый и технологичный упрочняющий наполнитель из коррозионно-стойких сталей. Высокое упрочнение проволоки дает пластическая деформация при волочении, за счет явления наклепа. Высокая температура рекристаллизации легированных сталей обеспечивает проволоке из аустенитной стали сохранение прочности при высокой температуре. Для композитов с Al матрицей, армированной стальной проволокой, температура - не выше 550 С, иначе в материале начинается активное взаимодействие компонентов
- **Проволока из тугоплавких металлов** (Mo, W, Ta) - для армирования жаропрочных матриц. Высокая жаропрочность (1200–1500 С). Высокая удельная прочность у низкоплотной бериллиевой проволоки. Ее получают прессованием из литой или порошковой заготовки, заключенной в никелевую оболочку. Деформированная бериллиевая проволока имеет высокую температуру рекристаллизации (700 С). Армирование матриц с малой плотностью (Al, Mg, Ti)
- **Нитевидные монокристаллы** («усы») имеют наибольшую жесткость и прочность из всех армирующих материалов. Малая плотность дислокаций. Скручивание усов в процессе образования монокристаллов Al_2O_3 и SiO_2 вызвано наличием в них единственной винтовой дислокации, расположенной вдоль оси роста кристаллов
- **Углеродные волокна (УВ)** получают высокотемпературной обработкой синтетических органических волокон в инертной среде. УВ получают в виде нитей, жгутов, лент или тканого полотна. Для производства УВ используют вискозу. При нагреве синтетическое волокно разлагается с образованием лентообразных слоев углерода с гексагональной структурой. При 450 С и выше на воздухе УВ окисляются, в восстановительной и нейтральной атмосфере сохраняют свои механические свойства до 2200 С. Достоинства: высокая тепло- и электропроводность, коррозионная стойкость, стойкость к тепловым ударам. Недостатки: плохая смачиваемость расплавленными материалами. Для ее улучшения на поверхность волокон наносят переходные покрытия. УВ для Al матрицы покрывают боридом титана и циркония
- **Борные волокна (БВ)** получают разложением хлорида бора в среде водорода с последующим осаждением бора из газовой фазы на горячую вольфрамовую нить диаметром 12 мкм. При длительном нагреве, после взаимодействия бора с вольфрамом, сердцевина БВ состоит из боридов вольфрама различного состава, в основном WB_4 . Низкая плотность и высокие прочность и жесткость. При 400 С и выше БВ окисляются, выше 500 С вступают в химич. взаимодействие с Al матрицей. Для повышения жаростойкости и предохранения от этого взаимодействия, на БВ наносят покрытия из карбида кремния, карбида или нитрида бора толщиной 3–5 мкм
- **Стекловолокно** получают продавливанием стекломассы через фильеры или вытягиванием из расплава. Высокая прочность, теплостойкость, коррозионная стойкость, но низкая

Композиционные материалы

Волокнистые содержат волокна: нити, ленты, сетки различного плетения. Армирование волокнистых композитов осуществляется по одно-, двух- и трехосной схеме

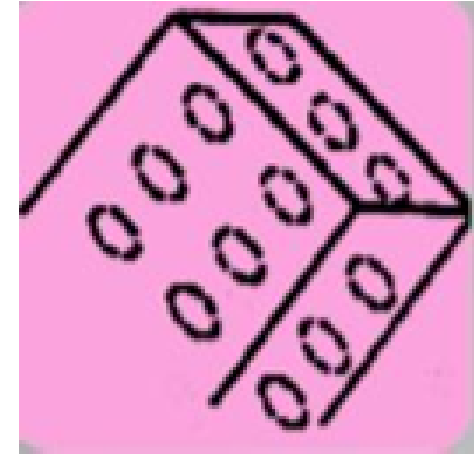


Прочные и твердые волокна окружены металлич. или пластмассовой матрицей. В качестве волокон используют прочную металлическую проволоку, металлические или керамические нитевидные кристаллы с низкой плотностью дислокаций, стеклянные и керамические нити из бора, углерода. Волокна воспринимают нагрузку, матрица распределяет ее между волокнами, защищает их поверхность и повышает энергию распространения трещины, предупреждая хрупкое разрушение. Такое упрочнение противоположно методам упрочнения металлов, когда металлич. матрица упрочняется за счет выделений второй фазы

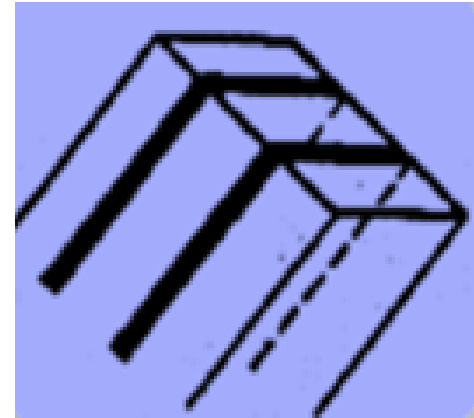
В композитах твердость матрицы повышать не требуется благодаря наличию прочных волокон. Такое армирование повышает прочность, но дисперсное упрочнение технологически легче осуществимо

Композиционные материалы

Дисперсноупрочненные содержат мелкие, равномерно распределенные тугоплавкие частицы карбидов, оксидов, нитридов, которые не взаимодействуют с матрицей и не растворяются в ней вплоть до темп. плавления. Дисперсные частицы упрочняют материал за счет сопротивления движению дислокаций при нагружении. Чем мельче частицы и расстояние между ними, тем прочнее материал. Сопротивление движению дислокаций сохраняется вплоть до темп. плавления матрицы. Высокие жаропрочность и сопротивление ползучести



Слоистые содержат чередующиеся слои наполнителя и материала матрицы («сэндвич»). Слои могут быть различно ориентированы. Возможно поочередное использование слоев наполнителя из материалов с разными механическими свойствами. Для слоистых композитов обычно используют неметаллические материалы



Для расширения комплекса свойств или усиления какого-либо свойства, композиционный материал одновременно армируют наполнителями различной формы и размеров. Для повышения модуля упругости композитов с полимерной матрицей, армированных стеклянными волокнами, вводят волокна бора

Полиармированные - с различными наполнителями

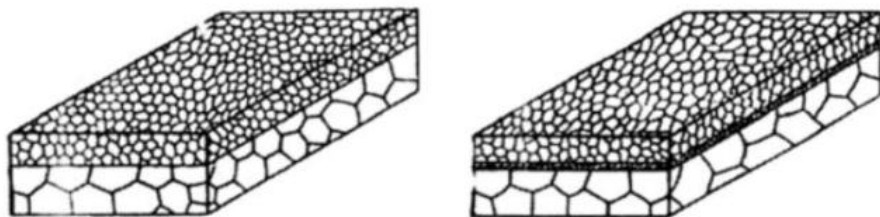
Полиматричные - с матрицей из чередующихся слоев различного химического состава

Свойства и структура композитов

- Свойства зависят не только от свойств матрицы и наполнителя, но и от размеров армирующих волокон, схемы армирования и количества наполнителя. При упрочнении волокнами конечной длины нагрузка на них передается через матрицу с помощью касательных напряжений. С увеличением длины волокна напряжение в нем повышается. При критической длине напряжение достигает максимального значения и уже не меняется при дальнейшем увеличении длины волокна
- Схема армирования сильно влияет на анизотропию свойств композитов. При растяжении предел прочности и модуль упругости достигают наибольших значений в направлении продольного расположения волокон, наименьших – в направлении поперечного расположения. При двухосном армировании анизотропия свойств не наблюдается. По сравнению с одноосным, при продольном армировании прочность уменьшается в 3 раза
- Прочность композитов зависит от прочности сцепления наполнителя с матрицей. При малом содержании упрочнителя вязкая матрица до разрушения испытывает большую деформацию, что ведет к нарушению сцепления волокон наполнителя с матрицей. При большом содержании наполнителя снижение прочности связано с достижением предела плотности упаковки упрочнителя

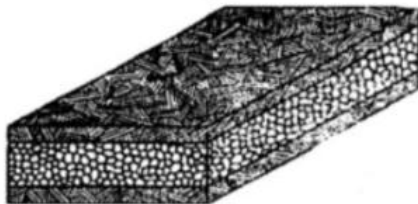


Слоистые КМ

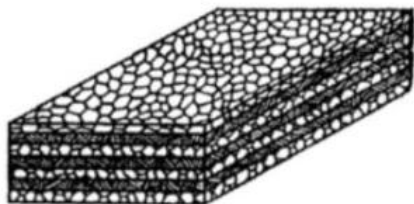


a

б

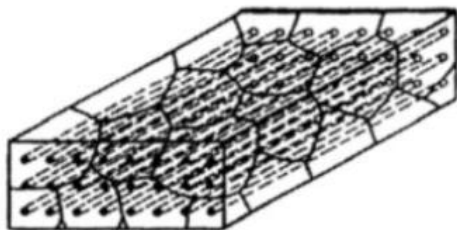


в

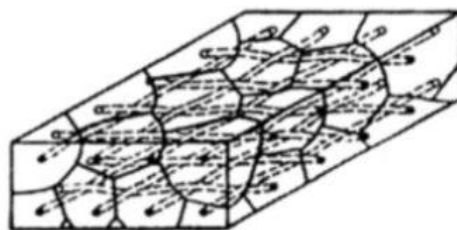


г

Волокнистые КМ

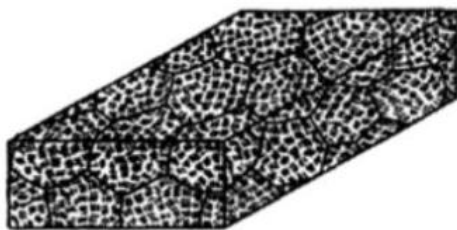


д

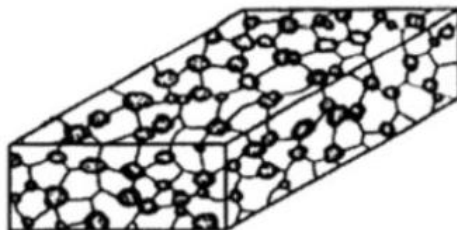


е

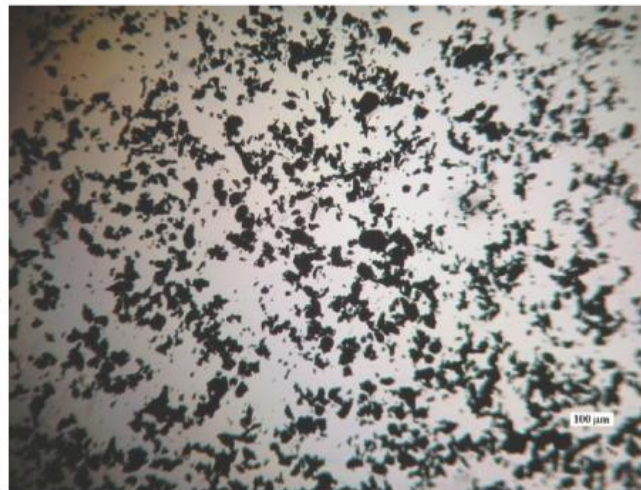
Дисперсно-упрочненные КМ



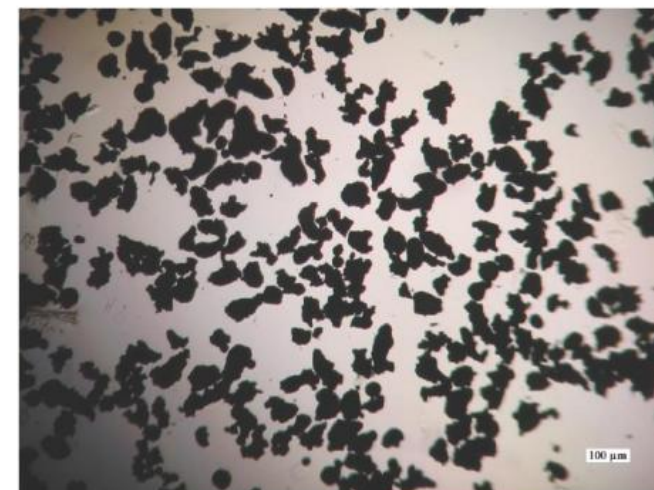
ж



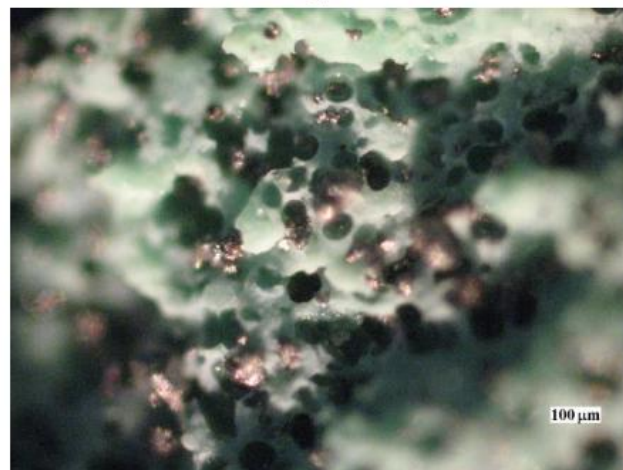
з



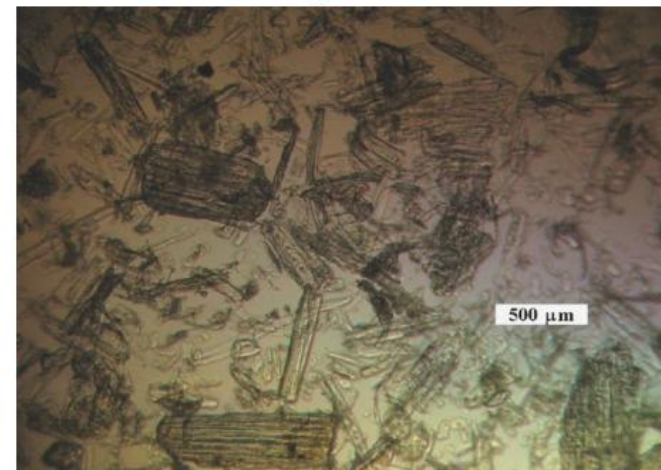
a



б



в



г

Композиционные материалы с различной структурой: слоистые, волокнистые и дисперсно-упрочненные: *a* — двухслойные; *б* — двухслойные с промежуточной прослойкой; *в* — трехслойные; *г* — семислойные; *д* — с волокнистым наполнителем; *е* — с сетчатой структурой; *ж* — с дисперсными частицами; *з* — с порошковыми наполнителями

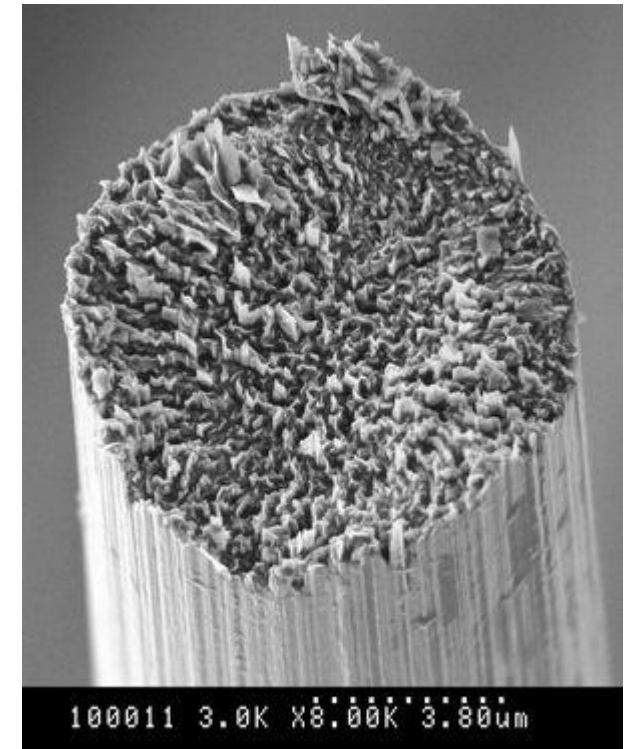
Микрофотографии наполнителей: *a*) порошок бронзы; *б*) порошок меди; *в*) порошок карбонильного железа; *г*) древесная мука

Свойства и специфические свойства композитов

Материал	Плотность ρ , г/см^3	Модель Юнга E, (ГПа)	Прочность σ_y , (МПа)	Прочность разрушения K_{IC} , (МПа* $\text{м}^{1/2}$)	E/ ρ	$E^{1/2}/\rho$	$E^{1/3}/\rho$	σ_y/ρ
Композиты								
CFRP, 58% осевое C в эпоксиде	1,5	189	1050	32-45	126	9	3,8	700
CFRP, 50% осевое стекло в полиэстер	2,0	48	1240	42-60	24	3,5	1,8	620
Кевлар-эпоксид (KFRP), 60% осевое	1,4	76	1240	-	54	6,2	3,0	886
Кевлар в эпоксиде								
Металлы								
Высокопрочные стали	7,8	207	1000	100	27	1,8	0,76	128
Алюминиевый сплав	2,8	71	500	28	25	3,0	1,5	179

Углепластики

- Углепластик (карбон, карбонопластик) - полимерный композиционный материал из переплетённых нитей углеродного волокна, расположенных в матрице из полимерных (эпоксидных) смол. Плотность 1450-2000 кг/м³. Высокая прочность, жёсткость и малая масса, прочнее и гораздо легче стали. По удельным характеристикам превосходит легированную сталь 25ХГСА. Усиливающие дополнения в основном материале конструкции
- Недостаточная электро- и теплопроводность усложняют молниезащиту и противообледенение. Электрическую проводимость можно модифицировать одностенными углеродными нанотрубками. УНТ - аллотропная модификация углерода, полая цилиндрич. структура диаметром от десятых до нескольких десятков нм и длиной от 1 мкм до нескольких см



Наноструктурные керамические композиционные материалы

Разработана технология получения новых высокопрочных и высоковязких керамических материалов с нанокристаллической структурой, синтезированных из нанокристаллических оксидных порошков на основе диоксида циркония, оксида алюминия и их гомогенных смесей, полученных плазмохимическим способом. - Нанопорошки обладают высокой активностью при спекании, что обеспечивает значительную прочность спеченной керамики. - Полученные уникальные свойства материалов обусловлены малым размером зерен в нанокристаллических материалах и наличием структурных фазовых превращений.

Конструкционная нанокерамика применяется для изготовления ножей и фильер для переработки пластмасс, резки химических волокон, изготовления лезвий бытовых ножниц и медицинских скальпелей; фильер протяжки проволоки, форсунок распылительных камер; втулок клапанов, различного рода уплотнений и др. Керамические материалы обладают высокой стойкостью в химических растворах. Востребованные на рынке продукты: - Высокопрочные, ударновязкие, износо-, коррозионно- и термостойкие детали: втулки клапанов, уплотнения, сопла, штуцеры, фильеры, крыльчатки и др. - Твердый электролит для датчиков содержания кислорода в расплавах металлов. - Фильеры для формования сварочных электродов из корундовой керамики.

Карбидостали — семейство композиционных инструментальных материалов, которые изготавливаются методами порошковой металлургии и предназначены для металлообработки. Карбидостали отличаются термостойкостью, сочетанием характеристик твёрдых сплавов (твёрдости, износостойкости) и легированных сталей (прочность, вязкость). По своим параметрам занимают промежуточное положение между быстрорежущими сталями и твёрдыми сплавами, однако карбидостали легче быстрорежущих сталей на 13 %, твёрдых сплавов — на 50 %. В структуре карбидосталей тугоплавкие карбидные зёрна (как правило TiC) равномерно распределены в связке с легированной сталью.

Список литературы

- Lawrence E. Murr, Sara M. Gaytan, Diana A. Ramirez, et al Metal Fabrication by Additive Manufacturing Using Laser and Electron Beam Melting Technologies //J. Mater. Sci. Technol., 2012, 28(1), 1-14
- Anton Zhukov, Boris Barakhtin, Olga Vasil,eva, Pavel Kuznetsov Features of deformation of bearing plates in a clip model manufactured by direct metal laser-sintering of a steel powder // Materials Today Proceedings, <https://doi.org/10.1016./j.matpr.2019.07.223>
- ФИЗИЧЕСКОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ /Учебник под общей редакцией Б. А. Калина, том 5.
- Материалы с заданными свойствами, Москва 2008, 671. • «Процессы пластического структурообразования металлов / В.М.Сегал, В.И.Резников, В.И.Копылов и др. ;». Издано: (1994).
- <https://znanio.ru/media/svojstva-konstruktsionnyh-materialov-2840948>
- Chrome
extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://portal.tpu.ru/SHARED/k/KHVOROVA/Studentam/Tab/Lecture19.pdf
- Технология конструкционных материалов и материаловедение: краткий курс лекций для студентов 3 курса направления подготовки 19.03.01 «Биотехнология» / Сост.: А.Г. Уфаев, А.В. Павлов // ФГОУ ВО «Саратовский ГАУ». – Саратов 2016.- 93 с.
- Ковалевская Ж.Г., Безбородов В.П. К 562 Основы материаловедения. Конструкционные материалы: учебное пособие / Ж.Г. Ковалевская, В.П. Безбородов. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 110 с.