

Лекция 11

Тема Лекции:

Конструкционные материалы, используемые в строительстве

к.ф.-м.н., PhD, ассоциированный профессор
Тулегенова Аида Тулегенкызы

Цель лекции:

Ознакомление с основными типами конструкционных материалов, их физико-механическими свойствами, особенностями производства и областями применения. Рассмотреть современные тенденции в развитии строительных материалов с улучшенными эксплуатационными характеристиками, энергоэффективностью и долговечностью.

Основные вопросы:

1.Классификация конструкционных материалов по происхождению и назначению.
2.Физико-механические свойства и критерии выбора материалов.
3.Минеральные и искусственные каменные материалы.
4.Металлы и сплавы в строительстве.
5.Полимерные, композитные и древесные материалы.
6.Бетоны и железобетон — основы технологии и модификации.
7.Современные наноматериалы и умные (smart) материалы в строительстве.

Конструкционные материалы, используемые в строительстве

Одна из отраслей промышленности, где нанотехнологии развиваются достаточно интенсивно, — это **строительство**. Естественно, что и основные разработки в этой области должны быть направлены на создание новых, более прочных, легких и дешевых строительных материалов, а также улучшение уже имеющихся материалов: металлоконструкций и бетона, за счет их **легирования нанопорошками**. Определенные успехи в этой области уже достигнуты. Как сообщает *Nano News Net,* российские ученые создали нанобетон. Специальные добавки — так называемые наноинициаторы — значительно улучшают его механические свойства. Предел прочности нанобетона в 1,5 раза выше прочности обычного, морозостойкость выше на 50%, а вероятность появления трещин — в три раза ниже.

При этом вес бетонных конструкций, изготовленных с применением наноматериалов, снижается в шесть раз. Разработчики утверждают, что применение подобного бетона удешевляет конечную стоимость конструкций в 2—3 раза. Также отмечается и ряд восстанавливающих свойств бетона. При нанесении на железобетонную конструкцию нанобетон заполняет все микропоры и микротрещины и полимеризуется, восстанавливая ее прочность. Если же проржавела арматура, новое вещество вступает в реакцию с коррозийным слоем, замещает его и восстанавливает сцепление бетона с арматурой.

Другое направление практического применения нанотехнологии в строительстве — различного рода **отделочные и защитные покрытия**, основанные на реализации эффекта лотоса и биоцидные материалы.

Эффект лотоса состоит в сочетании повышенной гидрофобности и способности к самоочищению.

Основой эффекта является тонкое равновесие между молекулярными силами, связанными с гидрофобностью и шероховатостью. Для технической реализации эффекта лотоса необходимо создать комбинацию наночастиц и гидрофобных полимеров (типа полипропилена или полиэтилена).

Так например, немецкой фирмой Alligator на основе нанотехнологии разработан окрасочный материал для фасада *Kieselit-Fusion* с уникальными характеристиками. Комбинация пигментов-наполнителей в сочетании с наноструктурной поверхностью обладает **свойством к самоочищению.** В результате фотокаталитического действия краски грязь на окрашенной поверхности распадается благодаря воздействию света. Сочетание наноструктуры и светостойких пигментов обеспечивает как высокую насыщенность цвета, так и устойчивость покрытия к ультрафиолетовому излучению в целом.

Это позволяет фасаду зданий и сооружений долгое время сохранять первозданный внешний вид.

На основе биохимического метода создана технология синтеза наночастиц серебра, стабильных в растворах и в адсорбированном состоянии. **Наночастицы серебра** обладают широким спектром **антимикробного (биоцидного) действия**, что позволяет создавать широкую номенклатуру продукции с высокой бактерицидной активностью. Они могут использоваться для модифицирования традиционных и создания новых материалов, дезинфицирующих и моющих средств, а также косметической продукции при незначительном изменении технологического процесса производства.

Наночастицы серебра синтезируют в водном и органическом растворе, наносят на поверхность и вводят в структуру материалов, придавая им антимикробные свойства.

Материалы автомобильной промышленности

Автомобильная промышленность развитых стран мира активно изучает возможности внедрения новых материалов и технологий. Это связано с решением проблем экологии, безопасности движения, обеспечения комфорта. Нанотехнологии в автомобилестроении нацелены на решение технических задач, относящихся к ходовой части, весу конструкции и динамике движения, снижению выхлопа вредных веществ, уменьшению износа и т. п.

Большие перспективы коммерческого производства имеет внедрение прозрачных многослойных наноматериалов. В частности, наносимые на стекло металлические покрытия толщиной в несколько нанометров могут одновременно отражать ИК-излучение и повышать термостойкость стекла.

В начале 20 века было обнаружено, что введение микрочастиц сажи в каучук приводит к улучшению качества автомобильных шин. Эффект связан с тем, что частицы сажи «склеивают» каучук и повышают прочность и износостойкость шин. Сегодня технологи пытаются увеличить **поверхность частиц сажи и уменьшить их слипание**, что позволяет снизить процессы рассеивания энергии в шинах и приводит к снижению расхода горючего в среднем на 4%.

Перспективы НТ в автомобильной промышленности сейчас во многом связываются с использованием наноструктурных металлических материалов, обладающих огромной прочностью, а также с производством новейших типов металлокерамики.

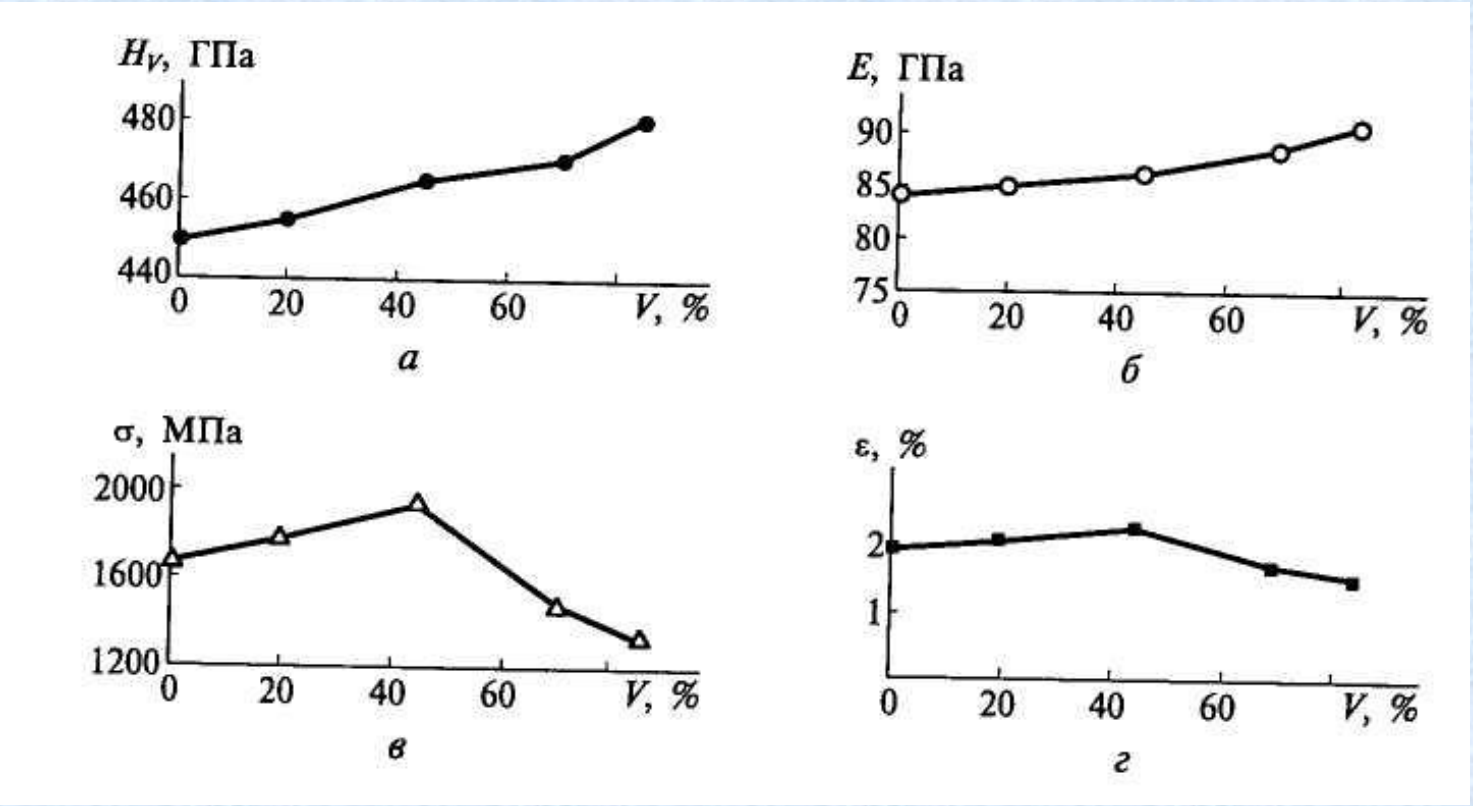
Разрабатывается большое число лаков на основе наносистем, обладающих не только высокой прочностью, но и способностью к «самозалечиванию» поверхности.

Однако конструкционные машиностроительные наноматериалы общего назначения пока еще не получили широкого распространения. Для порошковых консолидированных наноматериалов это связано с ограниченностью размеров и формы порошковых изделий, а также с трудностью сохранения наноструктуры при их спекании. **Низкая текучесть и прессуемость, легкая окисляемость и загрязняемость, агломерируемость** - все это тоже создает трудности при применении порошковых наноматериалов. Кроме того, до сих пор не преодолены такие недостатки многих порошковых наноматериалов, как низкие пластические характеристики и остаточная пористость.

Тем не менее, можно отметить ряд положительных моментов. Например, из распыленных аморфных порошков путем горячего прессования при давлении 1,2 ГПа получены высокопрочные ($\sigma_в$=1,4 ГПа) алюминиевые сплавы ($Al_{85}Ni_5Y_8Co_2$).

В структуре этих сплавов наблюдались кристаллические наночастицы размером 30–100 нм, а относительное удлинение составляло около 1%. Циркониевые сплавы с добавками Al, Ni, Ag, Cu, полученные контролируемой кристаллизацией из аморфного состояния, также продемонстрировали высокие механические свойства при испытании на растяжение и на сжатие с удовлетворительными пластическими характеристиками (см след. слайд).

Особенными механическими свойствами обладает наноструктурированная никелевая лента, полученная методом импульсного электроосаждения. Эта лента благодаря высоким параметрам прочности, пластичности, усталостным и антикоррозионным характеристикам широко применяется для плакирования поверхностей парогенераторной аппаратуры атомных станций и различных изделий добывающих и военных отраслей.



Влияние объемного содержания *V* икосаэдрической нанофазы на твердость H_V (*а*), модуль нормальной упругости *E* (*б*), разрушающее напряжение σ (*в*) и относительное удлинение ε (*г*) циркониевых сплавов $Zr_{65}Al_{6,5}Ni_{10}Cu_{12,5}Ag_5$, закристаллизованных при температуре 460 °С при различном времени выдержки

В целом можно отметить, что характеристики прочности и твердости металлических наноматериалов выше таковых для обычных материалов примерно в 4 - 6 раз, но параметры пластичности ниже, и зачастую металлические наноматериалы ведут себя как хрупкие материалы. В связи с этим важную роль при их применении играет конструктивное оформление, которое должно обеспечивать эксплуатацию изделий преимущественно в условиях сжатия (а не растяжения). Это будет затруднять распространение хрупких трещин и повышать допустимый уровень разрушающих напряжений в несколько раз. Таким образом, предпосылки для применения металлических наноматериалов в качестве конструкционных изделий имеются.

Точная механика и оптика

В области точной механики НТ приобретает все большее значение в связи с разработкой микроскопических приводных устройств (актуаторов) и датчиков самых разных типов. Приводные устройства на основе пъезоэлементов становятся очень важными элементами наноустройств, позволяющими осуществлять перемещения с нанометровой точностью. Такие методики позволяют управлять, например, **системами сверхточного дозирования жидких компонентов**, что имеет важное значение для создания новых систем струйной печати, дозирования медицинских препаратов и т. п. Точные дозировки смесей очень важны для технологий склеивания элементов НТ, а также в новых областях биотехнологии, исследовании гормонов и комбинаторной химии.

В сканирующих зондовых методах в последние годы стали применяться одновременно большое число зондов для обработки сложных поверхностей. Эти методы не могли бы развиваться без использования сверхточных **пъезоэлектрических приводных устройств**.

Нанотехнологические методы уже сейчас представляют большую значимость для **оптической промышленности**, особенно в производстве светочувствительных или излучающих элементов. Можно ожидать, что оптические технологии будут иметь ключевую роль в 21 веке, поскольку они связаны не только с коммуникациями и информационными технологиями, но и с медициной, генными технологиями, транспортом, производственными процессами и т. д. Оптические устройства играют важную роль во многих технологиях и приборах. Например, CD и DVD устройства, которые были созданы после того, как началось производство полупроводниковых лазеров.

Использование оптических устройств играет огромную роль в **фармацевтической и химической** промышленности. Разработка нового лечебного препарата занимает в среднем 10-15 лет и требует расходов в миллионы долларов. Эти расходы объясняются необходимостью проведения длительных и сложных исследований. Но создаваемые НТ возможности сканирования и изучения веществ с использованием оптически регистрируемых биомаркеров позволяют уже сегодня осуществлять тестирование миллионов веществ за несколько дней при минимальном расходе реагентов.

В последние годы усиленно разрабатываются **органические светодиоды**, действие которых основано на электролюминесценции полимерных полупроводников. Эти устройства обладают целым рядом преимуществ по сравнению с светодиодами из неорганических полупроводников:

- органические светодиоды позволяют получать излучение практически всех цветов за счет варьирования химического состава полимеров;
- эти тонкослойные оптические системы являются гибкими и их можно наносить на поверхности сложной формы;
- органические светодиоды должны быть недорогими в коммерческом производстве.

В продаже уже имеются дисплеи на органических светодиодах, уже имеются опытные образцы более крупных мониторов, а к 2010 году в продажу поступят телевизоры на основе органических светодиодов. Эксперты полагают, что **инновационные осветительные технологии** на основе органических светодиодов в будущем полностью вытеснят бытовые электролампы и люминесцентные источники света.

Инструментальные и триботехнические материалы

Керметные нанокомпозиты на основе Al_2O_3 с добавками Fe и FeCr (размер кристаллитов 40 – 60 нм) могут быть изготовлены механохимическим синтезом с последующим горячим изостатическим прессованием. Эти материалы, обладая твердостью 10–15 ГПа и трещиностойкостью 7–9 МПа·$м^{0,5}$, могут рассматриваться как перспективные для изготовления низко- и высокотемпературных узлов трения. Многофазные **оксидные и безоксидные нанокомпозиты** рассматриваются также как перспективные жаропрочные материалы. Например, эвтектические композиты типа $A1_2O_3$ – ($Y_3A1_5O_{12}$) – ZrO_2 с размером зерен менее 100 нм характеризуются высокой стабильностью механических свойств: при 20 °С – $\sigma_в$ =1,2 ГПа, при 1200 °С – $\sigma_в$ = 1 ГПа.

Высокая температурная прочность нанокомпозитов на основе SiC с различными добавками позволяет использовать их для создания газотурбинной техники.

Условия эксплуатации изделий из наноматериалов в инструментальной промышленности, а также в разнообразных областях общего и специального машиностроения предполагают в большинстве случаев (за исключением ударных и знакопеременных нагрузок) схему сжимающих напряжений, т. е. снижение пластических характеристик здесь не так катастрофично. Было установлено значительное повышение твердости для компактов и пленок с нанокристаллической структурой.

В общем случае повышение твердости влечет за собой увеличение износостойкости режущего инструмента и узлов трения в антифрикционных и фрикционных изделиях.

Проводятся исследования в области инструментальных наноматериалов (твердые сплавы, быстрорежущие стали, чистовой инструмент из нанокристаллов алмаза, новые сверхтвердые материалы и др.). Добавки нанопорошков карбида вольфрама (5 – 8 %) к стандартным твердым сплавам повышают однородность структуры и снижают разброс значений прочности.

Широко разрекламированная в начале 1990-х гг. американская технология твердых сплавов с нанокристаллической структурой, обеспечивающая повышение эксплуатационных свойств в четыре раза (при всего лишь двукратном увеличении стоимости), до сих пор, насколько известно, не получила широкого промышленного распространения. Это связано с тем, что при промышленных режимах жидкофазного спекания не всегда удается сохранить исходную наноструктуру твердых сплавов.

Тем не менее опытные партии наноструктурных твердых сплавов под торговыми марками Nanalloy и Infralloy™ изготавливают на пилотных установках.

Следует отметить, что первоначально в американском машиностроении наноструктурные твердые сплавы предполагалось использовать для изготовления сверл в автоматических линиях автомобильной промышленности, что обеспечивало бы сокращение простоев конвейеров при переналадках.

В связи с высокими показателями твердости (H_v = 22–24 ГПа) и трещиностойкости (~10 МПа·м$^{1/2}$) нанокристаллические твердые сплавы считаются также перспективными для изготовления бурового инструмента, предназначенного для глубоководной морской нефтеразведки.

Образцы сверхтвердых фуллеритов (консолидированных фуллеренов C_{60}) были получены компактированием при высоких давлениях (9 – 13 ГПа) в интервале температур 200–1600 °С. Оптимальные значения твердости этих образцов составляют 100 ГПа (в отдельных случаях до 300 ГПа), а модуль объемной упругости превышал таковой для алмаза и составлял более 500 ГПа. Эти материалы с уникальными механическими свойствами уже нашли применение для изготовления инденторов в устройствах для измерения твердости и трибологических характеристик твердых материалов, включая наноструктурные пленки.

Выводы лекции:

Классификация и критерии выбора: Конструкционные материалы систематизируют по происхождению и назначению, а их выбор определяется комплексом физико-механических свойств, долговечностью и условиями эксплуатации.

Традиционные материалы: Минеральные и искусственные каменные материалы, металлы и сплавы, полимеры, композиты, древесина, а также бетон и железобетон образуют базовую основу современного промышленного и гражданского строительства.

Технологии модификации: Совершенствование рецептур, армирование и создание композитных структур позволяют целенаправленно повышать прочность, коррозионную стойкость и срок службы конструкций.

Современные тенденции: Внедрение наноматериалов и «умных» (smart) строительных систем обеспечивает переход к энергоэффективным, экологичным и самовосстанавливающимся конструкциям нового поколения.

Вопросы для контроля изучаемого материала:

1.Как классифицируются конструкционные материалы по происхождению и назначению?
2.Какие свойства определяют пригодность материала для несущих конструкций?
3.В чём преимущества и недостатки бетона и железобетона?
4.Какие металлы чаще всего применяются в строительстве и почему?
5.Чем композитные материалы отличаются от традиционных металлических?
6.Каковы особенности наномодифицированных строительных материалов?

Список литературных источников:

1.Перов В. Ф., Кривошеин В. Н. Строительные материалы. — М.: Высшая школа, 2017.
2.Иванов В. С. Материаловедение для строителей. — СПб.: Питер, 2019.
3.Mehta, P. K., Monteiro, P. J. M. Concrete: Microstructure, Properties, and Materials. — McGraw-Hill, 2014.
4.Ashby, M., Jones, D. Engineering Materials: An Introduction to Their Properties and Applications. — Elsevier, 2019.
5.Li, Z. Advanced Concrete Technology. — Wiley, 2011.