

НАНОТЕХНОЛОГИИ И СОЗДАНИЕ МАТЕРИАЛОВ "ПО ЗАМЫСЛУ"

Основным направлением работ Федерального ядерного центра – ВНИИЭФ в области нанотехнологий является создание материалов "по замыслу"- консолидированных наноструктурированных материалов с повышенными, заранее заданными функциональными и эксплуатационными свойствами.

Создание материалов "по замыслу" является одним из наиболее важных направлений в области нанотехнологий, положительный эффект от которого может ожидать в самое ближайшее время.

Работы по наноматериалам ведутся в РФЯЦ-ВНИИЭФ в течение последних пяти лет и направлены в первую очередь на повышение функциональных свойств, отработку технологии получения и внедрение консолидированных наноматериалов – металлов, керамик, полимеров, покрытий. Разработки проводятся с применением современных методов и технологических приемов (рис. 1).

В идеальной схеме создание материала с заранее заданными характеристиками должно основываться на физико-

тематическом моделировании и оптимизации способов применения материала в конструкции. В результате определяются требуемые характеристики материала и проводится отработка технологии его получения. Пока эта идеальная схема работает только в отдельных случаях. Зачастую приходится отталкиваться от достигнутых на практике характеристик и по ним находить применение новому материалу.

В частности, применение механоактивации при изготовлении компонентов борсодержащей керамики позволило разработать материалы для жаростойких деталей, обладающие повышенной плотностью и прочностью (рис. 2).

Механоактивация другой борсодержащей порошковой композиции, содержащей частицы с размером от 40 до

Методы получения наноматериалов, используемые в РФЯЦ-ВНИИЭФ:

- механоактивация;
- интенсивная пластическая деформация;
- объемное модифицирование;
- плазменное детонационное напыление;
- СВС;
- золь-гель метод



Нанообъекты:

- углеродные наноструктуры (фуллерены, нанотрубки, нановолокна);
- нанокомпозиты, полученные механоактивацией ультрадисперсных порошков;
- металлы с нанозерном, полученные интенсивной деформацией;
- нанокерамика;
- полимеры, модифицированные наноструктурами;
- нанослои и нанопокрывтия, полученные напылением ультрадисперсных и наноструктурированных порошков

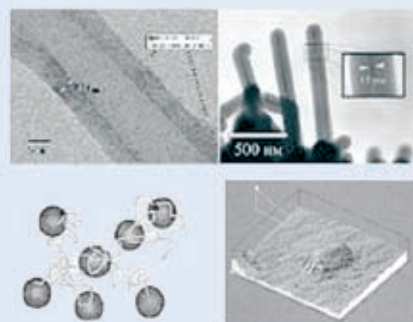


Рис. 1 Методы получения наноматериалов и нанообъекты, создаваемые в РФЯЦ-ВНИИЭФ

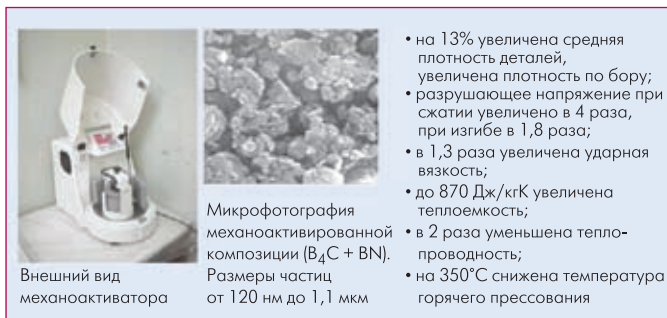


Рис.2 Материал "карбонит" для жаростойких деталей с ультрадисперсной структурой и повышенными плотностью и прочностью

90 нм, позволяет повысить микротвердость прессованных материалов на 18% и прочностные характеристики, в среднем, на 20%, снизить температуру горячего прессования изделий с 2100 до 1900°C. Такие композиции применяются при изготовлении бронезащитных керамических изделий, испытания которых показали возможность создания эффективной бронезащиты от стрелкового оружия.

Разработана технология изготовления нанопористых фильтрующих материалов. Один из них – технический углеродный материал (ТУМаН) с системой микропор на уровне 1,5–2 нм – получают карбонизацией полимера, приготовленного золь-гель-методом (рис. 3). Технологию выгодно отличают от аналогов простота и малоотходность. Используемые материалы недороги, производятся отечественной промышленностью. Высокие эмиссионные характеристики материала ТУМаН позволяют использовать его для изготовления катодов ускорителей электронов. Применение такого материала вместо графита позволяет повысить энергию генерируемого излучения более чем на 50% и существенно увеличить стабильность от импульса к импульсу.



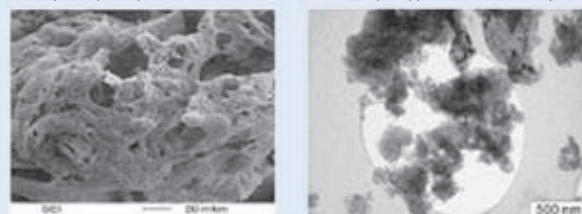
Рис.3 "ТУМаН" – технический углеродный материал с нанопорами

- на 13% увеличена средняя плотность деталей, увеличена плотность по борю;
- разрушающее напряжение при сжатии увеличено в 4 раза, при изгибе в 1,8 раза;
- в 1,3 раза увеличена ударная вязкость;
- до 870 Дж/кгК увеличена теплоемкость;
- в 2 раза уменьшена теплопроводность;
- на 350°C снижена температура горячего прессования

Другой перспективный материал – пористый наноструктурный никель (ПНН) – получают по технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (рис. 4). Материал перспективен в качестве основы для каталитического слоя.

Использование метода интенсивной пластической деформации ряда металлов и сплавов на их основе позволяет получить наноструктурированный материал с размером зерна ~300 нм. В результате значительно увеличивается прочность и изменяется пластичность металла (рис. 5). Такие материалы разрабатываются совместно с УГАТУ и имеют значительные перспективы для использования в медицине, автомобилестроении, при изготовлении спортивного инвентаря.

Пористый наноструктурный никель (ПНН) получен по технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС)



Микроструктура ПНН

ПНН представляет собой высокопористый материал, структура – взаимосвязанные рыхло упакованные пористые пленки. Каждая пленка обладает нанокристаллической структурой со средним размером отдельных кристаллов 75 нм.

Основные технические характеристики:

Содержание углерода и кислорода, %	<1
Удельная поверхность, м ² /г	8–14
Открытая пористость, %	85–96
Плотность кажущаяся, г/см ³	0,356
Прочность на сжатие при пористости 92% (цилиндр Ø8 мм, высота 8 мм), Н/см ²	10–15

Рис.4 Высокопористый наноструктурный никель

С применением объемной и поверхностной модификации (рис. 6) разработаны способы получения полимеров с повышенными эксплуатационными характеристиками (термической, механической и радиационной стойкостью). В результате удалось повысить температуру начала деструкции на 30–60°C, снизить ее скорость в 2–4 раза, увеличить относительное уд-



Компьютерное моделирование процесса РКУП

Измеленное зерно

РКУП позволяет измельчить зерно до 300 нанометров

Медь в исходном состоянии Медь после 8 циклов РКУП

Штамп Пуансон Заготовка

Принципиальная схема РКУП Штамп для РКУП

Области применения:

- медицина (стоматология, хирургия, ортопедия и т.п.)
- спортивный инвентарь (тренажеры, снаряды и т.п.)

Рис.5 Объемные наноструктурированные материалы, полученные методом равноканального углового прессования (РКУП)

линение при разрыве в 4,5 раза и пластичность полимерных покрытий, снизить трещинообразование в процессе эксплуатации при сохранении прочности на разрыв и паропроницаемости. Применение аналогичных добавок в клеевых соединениях позволяет заметно увеличить прочность склеенных композиций на разрыв, стойкость к воздействию агрессивных сред.

Разработаны технологии получения защитных покрытий методами плазменного и детонационного напыления ультрадисперсных материалов (рис. 7).

Полимеры, модифицированные углеродными наноструктурами

Углеродные нанотрубки

Поверхность полимеров, модифицированных методами молекулярного напыления и PCVD

Специальное оборудование для склеивания

Рис.6 Поверхностная и объемная модификация полимеров наноматериалами

Фотография медных дисков с наноструктурированным титано-алюминиевым покрытием толщиной 10 нм и 50 нм.

Получены нанопокрyтия методом плазменного напыления из механоактивированного порошка оксида гадолиния, наноструктурированное титано-алюминиевое покрытие, а также методом детонационного напыления из ультрадисперсного порошка оксида алюминия. Улучшена адгезионная прочность и плотность покрытий. Прочность сцепления в 2 раза выше стандартной.

Рис.7 Защитные покрытия, полученные методами плазменного и детонационного напыления

Во ВНИИЭФ активно развиваются методы расчетно-теоретического моделирования и прогнозирования свойств наноматериалов. Основная цель – создание теоретической базы технологических и конструкторских работ в области применения наноматериалов и нанотехнологий; моделирование их поведения в реальных условиях.

Внедряются и разрабатываются следующие современные расчетно-теоретические методы моделирования:

- метод функционала плотности;
- методы молекулярной динамики (*ab initio* и квантово-механические);
- квантово-химические методы;
- многоуровневые способы моделирования (сочетание методов физических элементов и кластерной динамики).

Расчет поверхности потенциальной энергии (водород в междоузлии палладия)

Моделирование процесса пробития преграды методом кластерной динамики

Рис.8 Моделирование диффузии газов в металлах и процессов разрушения материалов при динамических нагрузках



Рис.9 Оснащение ЦКП по диагностике наноматериалов

На основе программ молекулярной динамики разработаны методы моделирования диффузии газов в металлах и процессов разрушения материалов при динамических нагрузках (рис. 8). Предполагается дальнейшее применение этих методов для расчетов поведения водорода и его изотопов в конструкционных материалах; описания механических свойств металлов с наноструктурой; моделирования технологии изготовления и функциональных свойств наноматериалов.

Все эти разработки, представляют интерес с научной точки зрения и перспективны в плане практического использования. Однако их дальнейшее развитие невозможно без применения современного диагностического оборудования. С этой целью в РФЯЦ-ВНИИЭФ планируются работы по созданию и оснащению Центра коллективного пользования (ЦКП) по диагностике наноматериалов (рис. 9). Центр призван сконцентрировать работы по экспериментальному исследованию структуры и свойств наноматериалов и способствовать эффективному использованию приобретаемого дорогостоящего диагностического оборудования.

Ведущие ученые ВНИИЭФ уделяют внимание подготовке специалистов нового поколения. В Саровском физико-техническом институте при поддержке РФЯЦ-ВНИИЭФ создана

научно-исследовательская лаборатория "Дисперсные системы и наноматериалы", на базе которой проводится образовательная и исследовательская деятельность, выпущен ряд учебных пособий, налажены контакты с исследовательскими центрами Академии наук и Центрами коллективного пользования Роснауки. Проводится оснащение лаборатории современным оборудованием; внедрение в учебный процесс специальных образовательных программ.

Безусловно, освоение и внедрение новых технологий требует коллективного, межотраслевого подхода. У РФЯЦ-ВНИИЭФ налажены контакты с региональным Нижегородским центром "Наноиндустрия". Экспозиция Нижегородского региона, в составе которого РФЯЦ-ВНИИЭФ принимал участие в выставке NTMEX-2006 по нанотехнологиям и наноматериалам, отмечена первой премией и почетным дипломом. 31 января 2007 года подписано соглашение о вступлении РФЯЦ-ВНИИЭФ в "Центр нанотехнологий и наноматериалов Росатома".

Все это позволяет надеяться, что полученные в РФЯЦ-ВНИИЭФ результаты найдут применение при решении различных задач не только в атомной энергетике, но и в других отраслях. 