НАНОТЕХНОЛОГИИ И НАНОМАТЕРИАЛЫ

© ¹ И. Ш. Баснукаев, ¹ А. А. Исламов, ² Д. Ш. Мусостова

¹ ГГНТУ им. акад. М. Д. Миллионщикова, Грозный, Россия

² ЧГУ им. А. А. Кадырова, Грозный, Россия

На современном этапе развития науки и техники отдельной областью становится изучение нанотехнологий и наноматериалов. Частицы, имеющие размер от 1 до 100 нанометров, придают материалам новые свойства, позволяющие увеличить эффективность их применения практически во всех практических сферах. При помощи нанотехнологий создаются композиционные материалы на полимерной и металлической основах. Эти материалы имеют уникальные свойства, и их широкое применение приведет к технологической революции, которая изменит все жизненно важные области деятельности человека. В данной статье приводится общий обзор нанотехнологий и наноматериалов, рассматриваются перспективы их использования в современном мире.

Ключевые слова: нанотехнологии, наноматериалы, импортозамещение, nanoиндустрия, технологические направления.

Нанотехнологии – это новейшее направление науки и технологии, которое получило интенсивное развитие в начале XXI века. Официальное определение термина «нанотехнологии» содержится в различных нормативно-правовых актах (рис. 1).

Термин «нанотехнология» был введен в 1974 году японским ученым Норио Танигучи, занимавшимся проблемами возможности

обработки хрупких материалов. О значении сверхмалых объектов говорил в 1959 году американский физик, нобелевский лауреат Ричард Фейнман. Его идеи в 80-х годах XX века развил американский ученый Эрик Дрекслер, которого сегодня называют «отцом нанотехнологий». Большое влияние на развитие в этой области оказала его книга «Машины создания: Грядущая эра нанотехнологии», вы-

ISO/TK "Нанотехнологии"

- **НАНОТЕХНОЛОГИЯ** – это:
- знание и управление процессами, как правило, в масштабе 1 нм, но не исключающее масштаб менее 100 нм в одном или более измерениях, когда ввод в действие размерного эффекта (явления) приводит к возможности новых применений;
- использование свойств объектов и материалов в нанометровом масштабе, которые отличаются от свойств свободных атомов или молекул, а также от объемных свойств вещества, состоящего из этих атомов или молекул, для создания более совершенных материалов, приборов, систем, реализующих эти свойства.

ГОСТ Р 55416-2013 «Нанотехнологии. Часть 1. Основные термины и определения»

- **НАНОТЕХНОЛОГИЯ** – это совокупность технологических методов, применяемых для изучения, проектирования и производства материалов, устройств и систем, включая целенаправленный контроль и управление строением, химическим составом и взаимодействием составляющих их отдельных элементов нанодиапазона.

Рис. 1. Определение нанотехнологии

пущенная в 1986 году. Дрекслер анализирует биологические модели и вводит понятие молекулярных машин-роботов. Вслед за Фейнманом он противопоставляет традиционному технологическому подходу «сверху – вниз» новую стратегию «снизу – вверх», подразумевая молекулярную и атомную сборку при создании наночастиц. В книге «Наносистемы: молекулярные машины, производство и вычисление» Дрекслер описывает особенности технической обработки материалов и указывает на химические и другие ограничения, существующие при производстве наноматериалов [1].

Интерес к наноматериалам был вызван несколькими причинами. В первую очередь это возможность получения принципиально новых материалов, имеющих лучшие характеристики по сравнению с аналогичными традиционными материалами. Наноматериалы могут успешно применяться в машиностроении, производстве электронной техники, медицине, в оборонном секторе. Производство наноматериалов выявило множество нерешенных проблем в технологических знаниях и объединило специалистов в области химии, биологии, физики, медицины, что привело к созданию нового междисциплинарного научного направления.

В настоящее время наночастицами принято называть малоразмерные твердые объекты размером от десятых долей до 100 нанометров. Под нанотехнологиями понимают процесс создания и дальнейшего использования малоразмерных объектов.

Среди наноматериалов выделяют несколько основных разновидностей: консолидированные наноматериалы, нанопроводники, нанополимеры, нанобиоматериалы, фуллерены и нанотрубки, нанокатализаторы, нанопористые материалы, супрамолекулярные наноструктуры.

1) Консолидированные наноматериалы состоят из наночастиц, имеющих фиксированное пространственное положение и жестко связанных между собой. Это покрытия из металлов и сплавов, произведенные методом пластической деформации, при котором происходит кристаллизация частиц из аморфного состояния. В консолидированных наноматериалах

наблюдается высокая степень прочности межзеренных прослоек, что позволяет говорить о перспективах их использования при изготовлении композиционных материалов с использованием готовых форм.

2) Нанопроводники – твердые наночастицы, способные передавать электрический ток в противоположных направлениях. Каждая из частиц может копировать работу диодов, переключателей и выпрямителей электрического тока. Частицы имеют толщину порядка 5 нанометров, они покрыты положительно заряженным веществом и находятся в окружении отрицательно заряженных атомов.

3) Нанополимеры – это сферические наночастицы с нарушенной симметрией, соединяемые в полимерные пленки толщиной 60 мкм. Нанополимеры могут быть использованы для исследования свойств различных материалов, в частности для контроля их пористости. По оценкам специалистов, в будущем нанополимеры будут применяться во многих областях и станут самыми востребованными наноматериалами.

4) Нанобиоматериалы представляют собой синтезированные материалы, имеющие биологическую совместимость с живыми средами. Также к наноматериалам относятся модифицированные материалы, имеющие биологическое происхождение. В медицине нанобиоматериалы могут использоваться для ранней диагностики, доставки лекарственных препаратов в организме, восстановлении поврежденных органов. Флуоресцирующие полупроводниковые маркеры с нанесенными наночастицами уже применяются в магнитно-резонансной томографии. Наночастицы, составляющие покрытие с применением фосфатов кальция, позволяют избежать воспалительного процесса при введении в организм титановых имплантатов.

5) Фуллерены и нанотрубки. Фуллерен является частицей с размером порядка 0,3 нанометра, имеющей форму многогранника и состоящей из атомов углерода. Фуллерен можно назвать новой формой углерода, т.к. он имеет структуру, не встречающуюся в неорганических соединениях. Этот молекулярный кристалл, в котором молекулы связаны одинарными и двойными связями, является связующим

звеном между органическим и неорганическим веществом. Фуллерены применяются при создании новых материалов, применяемых в радиозащите, волоконно-оптических сетях, химических источников тока. Рассматривается использование фуллеренов при производстве фотоприемников и различного рода оптоэлектронных устройств, красителей для печати, для создания сверхпрочных соединений.

Нанотрубки были открыты в 1991 году при изучении электродугового испарения графита, горящего в атмосфере гелия. Это молекулы, состоящие из атомов углерода и имеющие форму трубки с диаметром от 1 до 50 нанометров и длиной до нескольких микрон. Нанотрубки обладают уникальными свойствами: они при значительно меньшей плотности в 100 раз прочнее стали и обладают вдвое более высоким сопротивлением к деформации по сравнению с традиционными углеродными волокнами.

6) Нанокатализаторы являются наночастицами металла, применяемыми в резервуарах с тяжелой нефтью для возникновения акватермолиза – реакции между паром и нефтью, приводящей к улучшению свойств высоковязкой нефти. Впервые наночастицы в качестве катализатора были применены в Китае, на нефтяных месторождениях Ляохэ.

7) Нанопористые материалы отличаются наличием пор, заполненных газом или жидкостью. К ним относятся клеточные мембраны, катализаторы и сорбенты. Присутствие большого числа мелких пор наделяет нанопористые частицы рядом уникальных физических свойств, позволяющих успешно их использовать в противогазах, фильтрах для очистки воды и воздуха, системах жизнеобеспечения на космических станциях и подводных лодках.

8) Супрамолекулярные наноструктуры производятся путем нековалентного синтеза и представляют собой устойчивые системы размером 0,1-1,0 нанометр. Это самые малые элементы, отличающиеся по функциональным признакам и позволяющие при внешнем воздействии управлять структурой и свойствами супрамолекулярных кристаллов.

Наноматериалы обладают уникальными свойствами: при высокой пластичности они имеют повышенную прочность, обладают

твердостью и износоустойчивостью. Благодаря малому размеру зерна, наноматериалы имеют высокий коэффициент термического расширения и граничной диффузии. Рассмотрим основные свойства наноматериалов, позволяющие использовать их в различных областях.

Магнитные свойства наноматериалов.

Исследования наночастиц показали возможность создания магнито-мягких материалов, имеющих высокие динамические и статические магнитные характеристики по сравнению с традиционными аморфными сплавами. Большие возможности открываются при использовании магнитных кластеров размером от 1 до 10 нанометров – при таких размерах частицы обладают суперпарамагнетизмом. Также наблюдается магнитная однодоменность наночастиц размером до 20 нанометров, эффект магнитного квантового туннелирования и гигантского магнетосопротивления. Важным свойством является проявление магнитных фазовых переходов первого рода, при которых магнитное упорядочение в нанокластерах исчезает скачкообразно, и система переходит в парамагнитное состояние без стадии суперпарамагнетизма.

Нанотехнологии позволяют получить высокодисперсные магнитные материалы, при помощи которых появляется возможность производить высокоплотную запись информации в электронных устройствах. Использование наноматериалов в ЭВМ позволит значительно увеличить их быстродействие за счет оптимизации процессов хранения и обработки информации. Дальнейшее изучение магнитных свойств наночастиц приближает ученых к созданию квантовых вычислительных устройств. Предположительная скорость обработки информации у квантовых компьютеров должна быть на порядок выше по сравнению с современными цифровыми устройствами, и именно нанотехнологии способны решить проблему получения большого числа квантовых битов и способствовать выходу вычислительной техники на принципиально новый уровень.

Диффузионные свойства наноматериалов.

В наноматериалах границы зерен имеют неравновесное состояние, что приводит к повышенному коэффициенту зернограничной

Таблица 1.

Классификация наноматериалов по форме и характеру распределения [2]

Характер распределения	кристаллитное			матричное
Химический состав	состав кристаллитов и границ одинаковый	состав кристаллитов различен при одинаковом составе границ	состав и кристаллитов и границ различный	кристаллиты распределены в матрице другого состава
Форма кристаллитов:				
Слоистая
Волокнистая
Равноосная

диффузии, превышающему коэффициент объемной диффузии. Повышенная диффузия при нагреве материала влияет на процессы возврата и рекристаллизации. Также высокий коэффициент зернограницной диффузии сказывается на протекании деформационных процессов в объемных наноматериалах. Наноматериалы принято различать по форме и характеру распределения (табл. 1).

При консолидации ультрадисперсных порошков исследователи наблюдают ускорение диффузионных процессов, при этом количественные оценки этого процесса противоречивы, что может быть связано с остаточной пористостью в наночастицах и их нестабильностью во время проведения эксперимента.

Упругие свойства наноматериалов. Упругость материала зависит от характеристик межатомных взаимодействий и относится к его основным свойствам. Соответственно, упругие свойства наноматериалов представляют значительный научный и практический интерес. В результате отжига наночастиц при

температуре 150-170°C происходит изменение упругих моделей. Это может быть связано с высоким внутренним напряжением в частицах, уменьшением зернограницных атомов и влиянием решеточных дислокаций.

Исследования показали, что при деформации частица приобретает однородную структуру с размером зерна порядка 0,2 мкм. При этом при отжиге с температурой 125°C границы наночастицы становятся равновесными, внутреннее напряжение практически исчезает, а размер зерен составляет около 0,6 мкм. С повышением температуры до 150°C размер зерна приближается к 1 мкм, но вид границ не изменяется. При более высоких температурах не выявлено значительных изменений упругих моделей.

Деформационное поведение наноматериалов. В теории появление наночастиц в металлах и сплавах должно приводить к увеличению прочности основного материала и высокоскоростной или низкотемпературной сверхпластичности. Практическая реализация

Таблица 2.

Соотношения между диаметром зерна и размером поверхностного слоя наноматериалов [2]

Диаметр зерна, нм	50	25	20	10	4 - 6
Объемная доля поверхностного слоя, %	12	24	30	60	100 - 150

этих свойств наночастиц позволит получить новые высокопрочные и износоустойчивые материалы.

Характеристики наноматериалов зависят от размеров зерен, расположения и свойств граничного слоя и взаимодействия основных частиц, и частиц, составляющих поверхностный слой. Доля граничного слоя в наноматериалах резко увеличивается в случае измельчения зерен до значений 4-5 нанометров. Предположив, что толщина слоя составляет 1 нм, а зерна имеют сферическую форму, соотношения между диаметром зерна и размером поверхностного слоя будут выглядеть следующим образом (табл. 2).

Существует четыре способа получения наноматериалов (рис. 2).

Порошковая технология заключается в использовании в качестве исходного сырья ультрадисперсных порошков, состоящих из частиц размером не более 100 нм. Также могут применяться порошки с более крупными частицами, полученные при интенсивном измельчении и состоящие из кристаллитов. После прессования, в зависимости от необходимости получения определенной формы и структуры материала, производится электро-разрядное спекание, горячее прессование, ков-

ка, динамическое и статическое давление при высоких температурах.

Интенсивная пластическая деформация применяется для производства наноматериалов из металла. Используя приемы деформации кручением при высоких температурах, угловое прессование и другие способы, получают наноматериалы с фрагментированной и разориентированной структурой. Размер зерен в полученных материалах составляет порядка 100 нм. При использовании метода деформации можно получать беспористые материалы с достаточно большими размерами. Интенсивная пластическая деформация также применяется при прессовании металлических порошков с целью изготовления многослойных нанокompозитов.

Контролируемая кристаллизация из аморфного состояния позволяет получить наноматериалы с беспористыми кристаллитами размером 10-20 нм. Существует три основных метода получения наноструктур из аморфных элементов:

- полная кристаллизация в процессе за-
калки из расплава;
- неполная кристаллизация методом за-
калки и получение аморфно-кристаллической
структуры;

Рис. 2. Способы получения наноматериалов

— закалка из металла с последующей термической обработкой.

Пленочная технология позволяет получить наноструктурные пленки на основе тугоплавких соединений. При помощи химических и физических методов можно произвести беспористые пленки толщиной от нескольких долей мкм до сотен мкм. Основными технологическими способами получения наноструктурных пленок являются: ионно-плазменное осаждение, активированное реактивное испарение, электронно-лучевой нагрев, осаждение из газовой фазы, электродуговое испарение.

Нанотехнологии стали одним из важнейших факторов научно-технической революции, интерес к ним продиктован возможностью создания принципиально новых материалов, применяемых в различных сферах. На сегодняшний день в мире издается более десяти научных журналов, полностью посвященных нанотехнологиям и наноматериалам. Еще в 2000 году был издан пятитомный справочник, включающий в себя имеющие на тот момент сведения о наноструктурных материалах и способах их изготовления.

Наноматериалы уже применяются в таких областях, как медицина, электроника, машиностроение, химическая промышленность. В медицине нанотехнологии позволяют создавать микросредства для перемещения лекарственных препаратов непосредственно к больным клеткам. Внедрение наночастиц поможет изучению химических процессов, происходящих на молекулярном уровне. Уникальные свойства наноматериалов уже используются для воссоздания искусственных органов и тканей, ведутся работы по использованию наночастиц для восстановления механических свойств зубной эмали.

Нанотехнологии позволили обеспечить повышенную безопасность пластмасс, у которых огнестойкость значительно повышается при использовании при их производстве неорганических наполнителей из наноразмерных порошков. Наночастицы также препятствуют выделению из пластмассы летучих соединений, которые являются вредными для человека.

В машиностроении, медицине и химической промышленности широкое применение нашли

титановые сплавы с добавлением наночастиц, имеющие повышенные прочностные характеристики. Это наиболее актуально при изготовлении медицинских имплантатов, которые при применении нанотехнологий получили повышенную выносливость при снижении веса и размеров.

Применение нанофазных керамических порошков позволило создавать в штампах изделия готовой формы без дополнительной механической обработки. Эта технология может сэкономить значительные ресурсы при крупномасштабном производстве бытовых изделий.

Перспективной отраслью является термическое напыление наноструктурных покрытий, позволяющее получать материалы с повышенными механическими и физическими характеристиками. Использование этой технологии основано на резком улучшении физических свойств у наноструктур с размером зерна менее 100 нм. Развитие этой технологии коснется таких отраслей, как аэрокосмическая промышленность, производство реактивных двигателей и автомобильное производство.

Таким образом, развитие нанотехнологий стало одним из важнейших событий начала XXI века, изменившим такие области, как машиностроение, радиоэлектроника, медицина, транспорт, энергетика. В развитых странах применение наноматериалов стало повсеместным и позволило сэкономить огромные ресурсы. По мнению ученых, в ближайшие два десятилетия нанотехнологии станут определяющими факторами в экономическом развитии государства. Уже сегодня в тридцати странах мира, в том числе и в России, существуют широкомасштабные программы по развитию нанотехнологий, финансируемые со стороны государства.

Нанотехнологии позволяют решить ряд важнейших проблем в самых различных областях, но их развитие напрямую зависит от экономических условий и таких факторов, как создание интеллектуального производства, решение проблемы хранения большого объема информации, высокий спрос на инновационные технологии и новые материалы, требования к утилизации отходов производства и повышение экологических требований.

В России имеется высокий потенциал для технологического прорыва и выхода на одну из ведущих позиций в мире по развитию и внедрению нанотехнологий. Речь идет в первую очередь о развитии технологий компьютерного моделирования различных процессов, разработки принципиально новых биометрических материалов, освоение производственных технологий на основе молекулярной сборки, производство легких и особо прочных композитных материалов. Наращивание темпов освоения новых технологий позволит вывести Российскую Федерацию на новый уровень экономического развития и даст шанс стать одним из лидеров мировой технологической революции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агафонова Г.В. Наноматериалы и нанотехнологии: учебное пособие / Г.В. Агафонова, Л.М. Гуревич. Волгоград: ВолгГТУ, 2019. 93 с.
2. Балоян Б.М. Наноматериалы. Классификация, особенности свойств, применение и технологии получения: учебное пособие / Б.М. Балоян, А.Г. Колмаков, М.И. Алымов, А.М. Кротов. М.: КГТУ, 2007. 125 с.
3. Нанотехнологии и перспективные наноматериалы / Абдулагатов А.И., Абдулагатов И.М., Абдуллаев Г.О. [и др.]; под ред. М.Х. Рабаданова. Махачкала: Изд-во ДГУ, 2019. 473 с.

NANOTECHNOLOGIES AND NANOMATERIALS

© ¹I. Sh. Basnukaev, ¹A. A. Islamov, ²D. Sh. Musostova

¹GSTOU named after acad. M. D. Millionshchikov, Grozny, Russia

²CSU named after A. A. Kadyrov, Grozny, Russia

At the present stage of the development of science and technology, the study of nanotechnology and nanomaterials is becoming a separate area. Particles ranging in size from 1 to 100 nanometers give materials new properties that allow increasing the efficiency of their application in almost all practical areas. Composite materials based on polymer and metal bases are created with the help of nanotechnology. These materials have unique properties, and their widespread use will lead to a technological revolution that will change all vital areas of human activity. This article provides a general overview of nanotechnology and nanomaterials, discusses the prospects for their use in the modern world

Keywords: nanotechnologies, nanomaterials, import substitution, nanoindustry, technological directions.

REFERENCES

1. Agafonova, G. V. and Gurevich, L. M. (2019) Nanomaterialy i nanotekhnologii: uchebnoe posobie. [Nanomaterials and nanotechnologies: textbook]. VolgGTU, Volgograd, 93 p.
2. Baloyan, B. M., Kolmakov, A.G. Alymov, M. I. and Krotov, A. M. (2007) Nanomaterialy. Klassifikatsiya, osobennosti svoystv, primeneniye i tekhnologii polucheniya: uchebnoe posobie. [Nanomaterials. Classification, peculiarities of properties, application and production technologies: textbook]. KSTU, Moscow, 125 p.
3. Abdulagatov, A. I., Abdulagatov, I. M., Abdullaev, G. O. [and others] (2019) Nanotechnologies and promising nanomaterials. In M. Kh. Rabadanov (Ed.), DSU Publishing House, Makhachkala. 473 p.