

УДК 921.793

ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ УПРОЧНЯЮЩИХ ПОКРЫТИЙ

д-р техн. наук, проф. А.Ф. ИЛЬЮЩЕНКО
(Институт порошковой металлургии НАН Беларуси, Минск)

Рассмотрено современное состояние и прогнозируемое развитие технологии в области микро и нанотехнологии, проанализированы методы получения элементов нанометровых размеров, обсуждаются проблемы и перспективы развития упрочняющих технологий с использованием новых материалов на основе нанопорошков.

Характерными тенденциями в современной технике и машиностроении являются стремление к созданию новых машин и механизмов с высокими рабочими параметрами и поиски наиболее экономных высокопроизводительных методов производства.

Эти направления не могут развиваться без разработки новых материалов и покрытий на их основе. В течение последних нескольких десятилетий наблюдается повышенный интерес к материалам, структурированным в нанометрическом диапазоне размеров, и к нанотехнологиям, имеющим дело с объектами нанометровых размеров, а также со способами их получения и реализации. В производстве этих материалов порошковая металлургия начинает играть доминирующую роль.

Наиболее простое определение наноструктурных материалов связано с геометрическими размерами их структуры. Материалы с наноразмерной микроструктурой называют наноструктурными. Принятый критерий «наноразмерности» обычно составляет меньше 100 нм.

Технологии порошковой металлургии широко используются для получения нанопорошков, а также для получения объемных наноматериалов [1]. Для этого используют нанопорошки с размером частиц менее 100 нм, крупнозернистые порошки с нанокристаллической структурой, полученные методом механического легирования или механоактивации (рис. 1), или аморфные порошки.

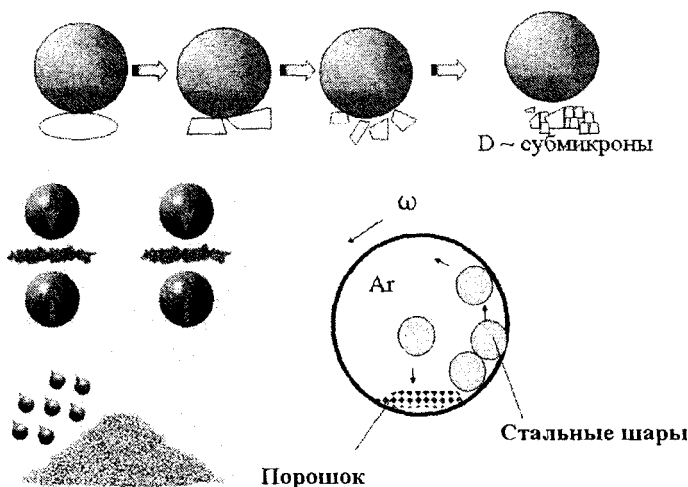


Рис. 1. Схемы процессов механического легирования и механоактивации

Благодаря зависимости свойств от масштаба структуры появляется возможность управлять ими посредством контролируемого роста зерна. Особенности структуры нанокристаллических материалов (размер зерен, значительная доля границ раздела и их состояние, пористость и другие дефекты структуры) определяются методами получения и оказывают существенное влияние на их свойства. С уменьшением размера зерна в ряде случаев повышается прочность, в том числе с сохранением пластичности, проявляется эффект низкотемпературной и высокоскоростной сверхпластичности, наблюдается увеличение теплоемкости и коэффициента термического расширения, значительно возрастают коэффициенты диффузии, снижается температура плавления [1]. Для ряда металлов и керамических соединений (Ni, ZnO, TiO₂, ZrO₂ и др.) уже продемонстрированы преимущества наноструктурных состояний в реализации более высоких механических свойств, возможности их модификации и технологичности обработки [2].

В ГНУ «Институт порошковой металлургии» исследования в области керамических и металлокерамических нано материалов проводятся рядом научно-исследовательских лабораторий и сконцентрированы на следующих направлениях:

- разработка и исследование процессов производства исходных нанопорошков;
- компактирование наноматериалов для производства мишеней, используемых для распыления покрытий в микроэлектронике и других областях (рис. 2);
- компактирование наноматериалов для производства конструкционных изделий;
- создание псевдокристаллических структур с селективными оптическими свойствами в определенном диапазоне;
- разработка и исследование процессов напыления нанопорошков с использованием технологий PVD, CVD, APS, UPS, HVOF.



Рис. 2. Оборудование (а, б) для компактирования мишеней (в) из нанопорошков методами статического прессования ($P = 50 \dots 700$ МПа); статического прессования при высокой температуре ($1300 \dots 1500$ °С) и давлении 4 ГПа; импульсного (гидродинамического) прессования; динамического прессования (бризантиными взрывчатыми веществами при давлении $3 \dots 7$ ГПа)

В рамках основных направлений исследований в институте проводятся работы по получению нанодисперсных композиционных порошков *методом помола* в атриторах, планетарных мельницах, вихревых и струйных аппаратах и их *классификации* (рис. 3) [2]. При этом не менее 50 % выхода составляют частицы размерами меньше чем 300 нм.

Золь-гель технологией получают монодисперсные нанопорошки и материалы из них со структурой фотонного кристалла, проявляющей селективные свойства в оптической области спектра.

Исследуются закономерности формирования структуры и свойств нанокристаллических материалов в условиях статического и динамического нагружения и спекания в области температур, не вызывающих интенсивной рекристаллизации.

В области классической порошковой металлургии исследуется влияние диссипативных структур, формируемых при консолидации керамики, на ее физические свойства [2].

Исследуются особенности формирования микро- и субмикроструктуры порошковых инфильтрированных материалов при термической и химико-термической обработке.

Методами нанесения покрытий в вакууме получают многослойные наноразмерные металлокерамические композиционные покрытия на титане, деталях медицинских имплантатов.

Среди разнообразных технологий нанесения защитных покрытий за последнее время интенсивное развитие получила группа газотермических методов напыления (ГТН), к которой относят плазменное, газопламенное напыление и электродуговую металлизацию. В их основе лежит единый принцип формирования защитного слоя из дискретных частиц материала, нагретых и ускоренных струей высокотемпературного газа. При этом условия сверхбыстрого охлаждения частиц дисперсного материала при газотермическом напылении создают принципиальные предпосылки для образования в покрытиях аморфных, нанокристаллических и метастабильных фаз. Это обстоятельство предопределяет тенденции в разработке новых материалов для газотермических методов напыления.

Возможность сохранения в газотермических покрытиях тонкодисперсных включений твердой фазы (TiC, CrB₂ и др.) размером 10...200 нм, имеющих в исходных порошках, полученных методами

механоактивации и самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) (рис. 4, 5), стимулирует в последнее время развитие работ в области ГТН покрытий с нанокристаллической структурой.

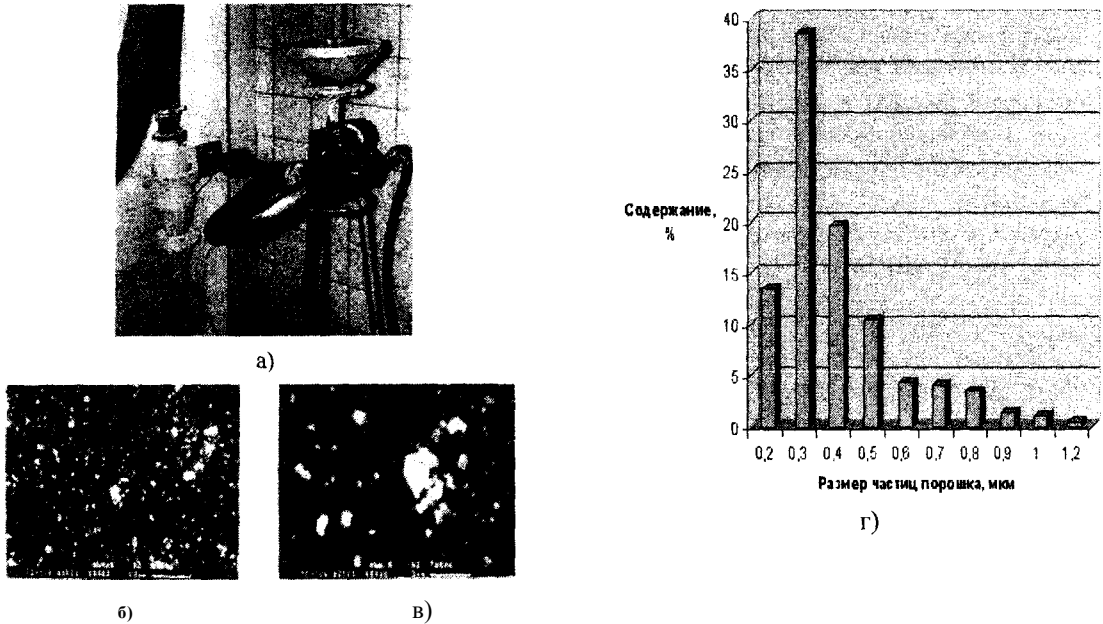


Рис. 3. Оборудование для производства нанопорошков методом измельчения (а); структура материала порошков (б, в); granulометрический состав частиц порошка (г)

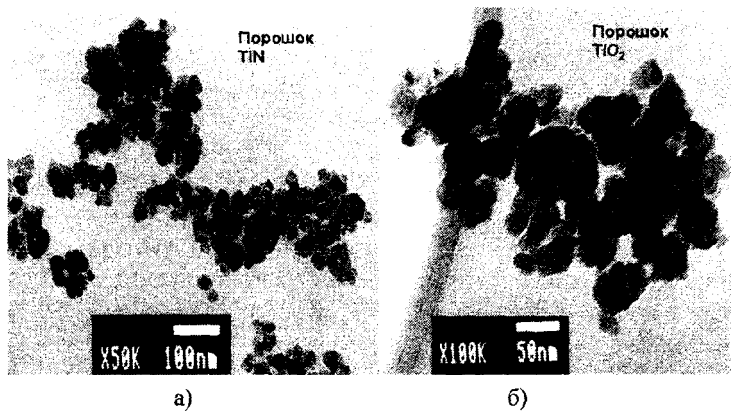


Рис. 4. Сканограммы наночастиц порошка, полученных методами размала в аммиаке (а) и кислороде (б):
 а – размол порошков Ti (Zr, Fe, V) в аммиаке: → наноTiN (ZrN; FeN; VN);
 б – размол порошков Ti (Fe, Zr) в кислороде: → наноTiO₂; наноFe_xO_y; → наноZrO_y (P < 300 кПа)

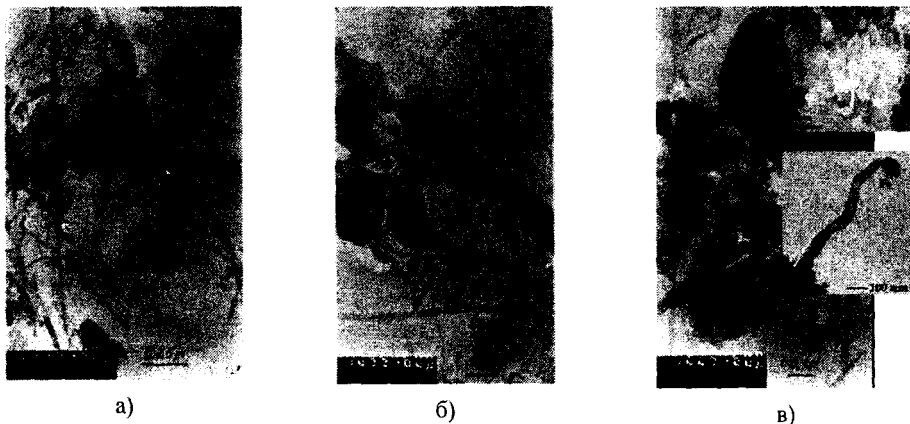


Рис. 5. Нанокристаллы карбидов хрома, полученные методом СВС с участием газотранспортных реакций:
 а – игольчатые кристаллы Cr₇C₃; б – кристаллы Cr₃C₂; в – агломераты из тонких зерен Cr₇C₃

Еще одним классом покрытий с нетрадиционной структурой являются покрытия с нанокристаллической структурой (например, системы $ZrO_2 + Y_2O_3$) [1], а также покрытия, полученные термолизом [4, 5], обладающие рядом уникальных свойств. Все большее внимание последнее время уделяется полимерам и металлополимерным системам для ГТН. Из других новых видов материалов для ГТН, получающих все большее применение, необходимо отметить порошки для покрытий медицинского назначения, в частности, гидроксипатит и фторпатит.

Выводы

1. Свойства нанопорошков с размером частиц менее 100 нм во многом определяются физико-химическими условиями их получения. К настоящему времени в институте разрабатываются различные способы получения нанопорошков: диспергирование, плазмохимический синтез, золь-гель метод, термолиз [4, 5], механическое легирование, самораспространяющийся высокотемпературный синтез и др.

2. Гистограммы распределения частиц по размерам, их структура и свойства в значительной степени определяются условиями формирования частиц и, следовательно, зависят от методов их получения.

3. Технические и конструкционные решения по созданию необходимых для этого условий могут быть различными.

4. Основные требования к методам получения нанопорошков заключаются в возможности контроля и управления параметрами процесса, узком распределении частиц по размерам, воспроизводимости получения порошков контролируемых дисперсности, химического и фазового составов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ильющенко А.Ф. Проблемы развития нанотехнологий в современном материаловедении композиционных материалов // Наноструктурные материалы-2004: Беларусь - Россия: Материалы III междунар. семинара, Минск, 12-15 октября 2004 г. - Мн., 2004. - С. 19 - 21.
2. Влияние температуры спекания на микроструктуру материалов из ультрадисперсных порошков на основе Ta_2O_5 / А.Ф. Ильющенко, С.Г. Барай, А.А. Шевченко и др. // Наноструктурные материалы-2004: Беларусь - Россия: Материалы III междунар. семинара, Минск, 12-15 октября 2004 г. - Мн. - С. 152 - 153.
3. Судник Л.В., Ильющенко А.Ф. Новые разработки института порошковой металлургии в области создания наноструктурированных керамических композиционных материалов // Белорусско-польский науч.-практ. семинар, Ольштын, Республика Польша, 4-7 октября 2004 г.: Тез. докл. - Мн.: ГКНТ РБ; БелИСА, 2004. - С. 101 - 102.
4. Исследование структуры и свойств алюмооксидной керамики с наноразмерными компонентами / А.Ф. Ильющенко, Л.В. Судник, А.А. Бойко, Е.Н. Подденежный // Новые материалы и технологии: Порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия, сварка: Материалы 6-й междунар. науч.-техн. конф., Минск, 6-7 апреля 2004 г. - Мн., 2004. - С. 259 - 261.