

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Дудиной Дины Владимировны «Закономерности формирования фазового состава и структуры композиционных материалов и покрытий в условиях неравновесного компактирования и импульсных воздействий», представленную к защите на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.16.09 – материаловедение (в машиностроении)

Актуальность темы работы

В последние годы в России значительные ресурсы вкладываются в разработку наноструктурных материалов. При консолидации порошков важным является не только сохранить размер зерна на нано- или субмикронном уровне, но и получить изделие с равномерной структурой. Возникновение структурных неоднородностей в материалах при неравновесном компактировании или неравновесной обработке (подразумевающих быстрые процессы нагружения или подведения энергии в форме импульсов электрического тока) на различных масштабных уровнях – в масштабе отдельных порошковых частиц, агрегатов частиц или спекаемой заготовки – является прямым следствием условий воздействия и требует проведения целенаправленных исследований для повышения качества материалов и изделий, получаемых данными способами. Необходимы тщательные исследования механизмов структурообразования и физических процессов, приводящих к появлению структурных неоднородностей. Исследования данных вопросов позволят найти технические решения и подходы, которые станут основой формирования материалов с равномерной структурой и улучшенными характеристиками.

Целью диссертационной работы Дудиной Д. В. являлось установление закономерностей формирования фазового состава и структуры композиционных материалов и покрытий, образующихся в условиях

неравновесного компактирования порошков и импульсных воздействий как основы для разработки технологий получения материалов с контролируемыми механическими и функциональными свойствами. Решение поставленных в работе задач является актуальным для материаловедения композиционных материалов и покрытий, и также для решения технологических проблем, связанных с компактированием и спеканием порошков неравновесными методами. Актуальным является и поиск новых композиционных материалов, которые бы позволяли не только достигнуть желаемых свойств изделий, но и представляли бы собой удобные для компактирования системы. В связи с этим актуальность имеют исследования Дудиной Д. В. в области композитов с металлическими матрицами, в которых используется нетрадиционная упрочняющая фаза – металлическое стекло, играющее роль связки при компактировании и упрочняющей фазы при нормальных условиях (в условиях работы изделия из композиционного материала).

Практическая значимость результатов

Практическая значимость работы Дудиной Д. В. заключается в разработке способов получения компактных и пористых материалов с перспективными свойствами. С использованием неравновесных методов обработки порошков и неравновесного компактирования разработаны способы получения:

- композиционных материалов V_4C-TiB_2 с повышенным показателем трещиностойкости;
- боридов никеля Ni_3B – материала, перспективного для применений в нагревательных элементах;

- композитов с металлическими матрицами из сплавов на основе алюминия и магния, упрочненных частицами металлических стекол, в которых достигается повышение прочностных характеристик при сохранении достаточно высокой пластичности;

разработаны технологии получения композиционных материалов

- электропроводящих композитов TiB_2-Cu , в которых упрочнение меди наночастицами диборида титана не приводит к существенному ухудшению электропроводности;

- пористого алюминида железа $FeAl$ с высокой открытой пористостью – материала, перспективного для изготовления высокотемпературных фильтров;

- нанопористого серебра, которое может быть рекомендовано для применений в качестве катализатора.

Несомненную практическую значимость имеют результаты работы, полученные при исследовании процессов, происходящих при детонационном напылении. Найденные зависимости состава и структуры покрытий от условий напыления могут быть использованы при выборе режимов нанесения покрытий на основе металлов, интерметаллидов и оксидных материалов. Показана возможность получения покрытий на основе диоксида титана, содержащих нанодисперсные включениями серебра и перспективных для создания функциональных поверхностей. С использованием данных о влиянии различных параметров детонационного напыления на структуру покрытий могут осуществляться дальнейшее совершенствование или модификация оборудования для детонационного напыления.

Научная новизна работы

Методом *in situ* атомно-эмиссионной спектроскопии впервые показано отсутствие переходов вещества в плазменное состояние в процессах электроискрового спекания.

На примере электроискрового спекания меди впервые показана возможность получить компактный материал, в котором размер кристаллитов будет меньше, чем в исходном порошке (на примере спекания пористых медных компактов). Показано, что таким процессам способствует малое приложенное давление или спекание при отсутствии давления,

поскольку именно в таких условиях возможно локальное плавление материала в объеме компакта.

Новыми являются данные о структуре и механических свойствах материалов на основе карбида бора, в которых в качестве добавки, повышающей трещиностойкость, используется диборид титана.

Новизной характеризуются данные о составе и структуре покрытий, сформированных при детонационном напылении, при котором происходило взаимодействие напыляемых порошков с продуктами детонации и газом-носителем. Установлены закономерности протекания химических реакций (реакций окисления, восстановления, нитрирования и карбидообразования) при детонационном напылении. Впервые показано, что при взаимодействии частиц порошка с газообразными компонентами атмосферы напыления образуются покрытия, состоящие из чередующихся слоев. Данные слои отличаются как по химическому, так и по фазовому составу. Покрытия, полученные реакционным напылением, имеют размерные характеристики чередующихся слоев, не наблюдающиеся в покрытиях, полученных при напылении порошковых смесей (напылении двухкомпонентных или многокомпонентных смесей).

Впервые показана возможность использования металлических стекол в качестве упрочняющих добавок для композитов с матрицами из сплавов магния и алюминия.

Впервые найдены и обоснованы условия получения нанопористого серебра селективным растворением железа из компактов Ag-Fe, спеченных в неравновесных условиях из наноструктурированных композиционных порошков, активированных в высокоэнергетической мельнице. Данный подход перспективен для ряда несмешивающихся металлических систем.

Структура и оформление диссертации

Диссертация Дудиной Д. В. состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы, содержащего 512 источников, и трех

приложений. Общий объем диссертации составляет 305 страниц. В приложениях представлены акты об использовании результатов диссертационной работы. Общее оформление диссертации и автореферата не вызывает замечаний.

Печатные варианты диссертации и автореферата диссертации полностью соответствуют электронным версиям, выставленным на сайте НГТУ по ссылке

http://www.nstu.ru/science/dissertation_sov/dissertations/view?id=16461

Во «Введении» представлены актуальность темы, теоретическая и практическая значимость результатов, научная новизна работы и защищаемые положения. Глава 1 представляет собой обзор литературы по теме диссертации; на основании проведенного анализа литературы поставлены цель и задачи работы. В главе 2 представлены исследования, направленные на определение плазменного состояния во время обработки вещества импульсным электрическим током при электроискровом спекании, а также исследования взаимодействий между отдельными порошковыми частицами металлов и связанных с ними структурных и морфологических изменений в материалах при электроискровом спекании. Рассмотрены вопросы появления структурных неоднородностей в спеченных материалах и исследована природа их возникновения. В главе 3 представлены исследования формирования структуры и фазовых превращений материалов при реакционных процессах при электроискровом спекании и детонационном напылении. Глава 4 посвящена материалам, в которых при импульсном воздействии и компактировании удается сохранить метастабильные состояния (фазы). В главе 5 представлено компактирование и детонационное напыление систем, в которых структурные изменения происходят только при достижении температуры плавления одной из фаз. Глава 6 посвящена практическому использованию результатов, полученных в работе. «Заключение» содержит основные выводы по работе и перспективы дальнейшей разработки темы. Автор диссертационной работы подробно

обобщил результаты работы, представленные в виде 100 рисунков и 10 таблиц.

обсуждает перспективы дальнейшей разработки темы, логично вытекающие из уже полученных результатов, что положительно характеризует работу, и показывает, что полученные в работе данные будут являться прочным фундаментом для будущих исследований в данной области знаний.

Достоверность результатов работы и обоснованность выводов, научных положений и рекомендаций

Достоверность результатов работы определяется использованием современных методов анализа состава и структуры материалов и покрытий, большим объемом полученных экспериментальных данных, применением стандартных методик статистической обработки и соответствием результатов, полученных различными методами исследований. Полученные в работе данные не противоречат результатам других авторов, и согласуются с современными представлениями о процессах, протекающих в порошковых материалах в неравновесных условиях спекания и термического напыления порошков. Выводы по работе, научные положения и рекомендации, сформулированные в работе, являются полностью обоснованными.

По диссертационной работе Дудиной Д. В. следует сделать некоторые замечания:

1. В диссертационной работе приведено большое количество рентгенограмм, однако только в ряде случаев анализируются параметры тонкой структуры (размеры областей когерентного рассеяния рентгеновских лучей, дисторсия кристаллической решётки, параметры элементарной ячейки). Из приведённых в диссертации рентгенограмм для образцов одного фазового состава, но полученных в разных условиях, заметна разница в положении рентгеновских рефлексов, их ширине. Анализ влияния параметров получения на кристаллическую структуру материалов по рентгеновским дифракционным картинкам смог бы существенно углубить представления о формировании

структурно-фазового состояния полученных в работе материалов, тем более что речь идёт о наноматериалах.

2. В ряде зависимостей автор не приводит разброса экспериментальных значений анализируемых величин, из чего складывается впечатление о том, что эксперимент проведён по одному образцу.
3. В главе 4 автору следовало бы привести структурные данные композитов выбранных составов, спеченных традиционным методом, для проведения сравнительного анализа и выявления преимущества спекания индукционным нагревом. Следовало бы также пояснить выбор состава металлических стекол, взятых в качестве упрочняющей добавки к сплавам на основе магния и алюминия.

Несмотря на указанные замечания, диссертация является целостной и завершённой научно-квалификационной работой и содержит данные, представляющие несомненную научную ценность для материаловедения и смежных областей знания и практическую ценность для машиностроения и технологий получения композиционных материалов и покрытий.

Публикации по теме диссертации

Результаты исследований Дудиной Д. В., представленные в диссертационной работе, опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК РФ, и международных рецензируемых журналах, индексируемых в базах Web of Science и Scopus. По теме диссертационной работы опубликовано 55 работ:

- 43 статьи в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в Web of Science и Scopus, а также журналах из списка ВАК,
- 3 монографии,
- 1 патент,
- 1 статья в справочном издании,
- 7 статей в прочих изданиях.

В качестве положительной оценки публикаций автора следует отметить тот факт, что результаты, полученные в диссертационной работе, полностью представлены в публикациях в рецензируемых периодических научных изданиях, при этом для каждого раздела глав диссертации есть соответствующая публикация/публикации. Следует отметить наличие статей обзорного характера (в журналах *Materials*, *Journal of Materials Science*, *Journal of Nanomaterials*) и глав в монографиях, соответствующих тематике диссертации, указывающих на способность автора критически анализировать большие объемы данных и результатов, полученных различными авторами, и критически оценивать собственные результаты в свете современных тенденций в исследуемой области.

Общая оценка работы

Тематика и содержание диссертации Дудиной Д. В. соответствуют паспорту специальности 05.16.09 – материаловедение (в машиностроении). По научной и практической ценности работы и объему полученных результатов диссертация Дудиной Д. В. соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842), предъявляемым к докторским диссертациям. Представленная диссертационная работа является научно-квалификационной работой и содержит новые научно обоснованные технические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в разработку и совершенствование способов получения наноструктурных и метастабильных материалов и покрытий с перспективными механическими и функциональными свойствами. Дудина Д. В. заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.16.09 - материаловедение (в машиностроении).

Официальный оппонент:

главный научный сотрудник лаборатории физики наноструктурных функциональных материалов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук, доктор технических наук (специальность 01.04.07 – физика конденсированного состояния), профессор



Буякова Светлана Петровна


Подпись С.П. Буяковой удостоверяю.
учёный секретарь ИФПМ СО РАН
к.физ.-мат.наук



Н.Ю. Матолыгина

Служебный адрес: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук, пр. Академический 2/4, Томск, 634055
Служебный телефон: (3822) 286-851; **факс:** (3822) 492-576
E-mail: sbuyakova@ispms.tsc.ru
Сайт организации: www.ispms.ru

Поступила в свет 27.11.2017

 Тюртин А.И.

С отзывом ознакомлена 28.11.2017

 Людский Д.В.