

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)

В диссертационной работе Дудиной Д. В. объектами исследований являются композиционные материалы и покрытия на основе металлов, керамики и интерметаллидов, получаемые неравновесными методами – электроискровым спеканием, горячим прессованием с использованием индукционного нагрева, детонационным напылением и обработкой одиночными импульсами электрического тока от разряда конденсатора. Предметом исследований являются фазовые и структурные превращения, происходящие в композиционных материалах и покрытиях при их формировании указанными методами.

Актуальность работы обусловлена существенным интересом материаловедов и инженеров к неравновесным методам компактирования порошков для создания материалов с уникальными свойствами, недостижимыми при использовании традиционных процессов спекания. Неравновесное компактирование порошков предоставляет возможности контролировать процессы роста зерна и получать высокие относительные плотности заготовок при сохранении метастабильных фаз в материале. Несмотря на большое число работ по получению материалов методом электроискрового спекания, появившихся в литературе в последнее десятилетие, многие существенные аспекты формирования структуры материалов, связанные с прямым протеканием электрического тока через компактируемый материал, оставались неизученными. Актуальность исследований Дудиной Д. В. в области электроискрового спекания подтверждается высокой цитируемостью ее печатных работ. Показательным является тот факт, что двумя наиболее цитируемыми работами являются работы, касающиеся существования плазменного состояния материала в процессах электроискрового спекания

и возможностей синтеза керамических композитов данным методом. Следует также отметить, что технологические возможности детонационного напыления в плане создания покрытий с уникальными структурными характеристиками могут быть существенно расширены за счет проведения процессов в условиях контролируемого протекания химических реакций напыляемого материала с компонентами атмосферы напыления. Вопросы фазообразования в покрытиях, в том числе условия образования метастабильных фаз при детонационном напылении, были подробно исследованы автором диссертационной работы. Актуальность работы Дудиной Д. В. подтверждается и существенной поддержкой исследований грантами РФФИ и других фондов.

Диссертация Дудиной Д. В. состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы из 512 наименований и трех приложений. Общий объем диссертации составляет 305 страниц. Диссертация содержит 148 рисунков и 28 таблиц.

Во введении к диссертации обоснована актуальность темы исследований, представлены теоретическая и практическая значимость и научная новизна работы, а также сформулированы защищаемые положения. **В первой главе** диссертации представлен обзор литературы по тематике диссертации. Рассмотрены физические основы процессов электроискрового спекания, обработки единичными импульсами электрического тока, горячего прессования с использованием индукционного нагрева, а также формирования покрытий в условиях импульсных воздействий при детонационном напылении порошков. Обоснован выбор объектов исследований, который осуществлялся исходя из комплекса физико-химических свойств, необходимых для изучения определенного эффекта, а также практической значимости получаемых материалов с точки зрения их полезных свойств. **Во второй главе** приведены результаты исследований вещества в межчастичном пространстве компактов в процессах электроискрового спекания, а также исследований процессов, происходящих на контактах между частицами, и особенностей появления микроструктурных неоднородностей в спеченных образцах. **В третьей главе** представлены результаты исследований поведения систем, в которых при электроискровом спекании или детонационном напылении происходят химические взаимодействия, при этом продукты химических реакций становятся основными фазами спеченных материалов и покрытий. **В четвертой главе** рассмотрены системы, в которых при нагреве могут происходить межфазные химические взаимодействия, но условия

компактирования, напыления и обработки выбирались таким образом, чтобы взаимодействия не происходили или были сведены к минимуму. В пятой главе рассмотрено поведение систем, в которых не происходит межфазных взаимодействий вплоть до плавления одной из фаз. В шестой главе представлено практическое применение результатов исследований.

Следует отметить результаты работы, определяющие ее научную новизну:

1. Впервые показана возможность уменьшения среднего размера кристаллитов в компактах, полученных электроискровым спеканием, относительно порошкового состояния и предложены механизмы уменьшения размера кристаллитов.

2. Впервые применен метод *in situ* атомно-эмиссионной спектроскопии для анализа вещества в межчастичном пространстве в процессах электроискрового спекания. Проведенные исследования показали отсутствие переходов вещества в плазменное состояние в процессах электроискрового спекания.

3. Показано, что удаление оксидных пленок с поверхности металлических частиц при электроискровом спекании происходит за счет восстановления оксидов металлов углеродом при контакте спекаемого материала с графитовой фольгой или элементами графитовой оснастки и не связано с прямым действием электрического тока, проходящего через образец.

4. Показано, что при электроискровом спекании композиционных агрегатов из электропроводящих материалов важную роль в микроструктурных изменениях и фазовых превращениях играет морфология агрегатов: малая площадь контакта между агрегатами способствует локальному плавлению и протеканию химических реакций на контактах.

5. На примере синтеза композитов V_4C-TiB_2 из смеси порошков титана, бора и углерода в условиях электроискрового спекания показано, что в случае присутствия в структуре композитов агрегатов диборида титана, электроискровое спекание не позволяет устранить остаточную пористость, присутствующую в объеме данных агрегатов. Показано, что достижение равномерного распределения реагента, участвующего в образовании фазы с более высокой температурой плавления, в исходной порошковой смеси реагентов является ключевым фактором устранения пористости спеченных материалов.

6. Впервые детально исследованы состав и структура детонационных покрытий, содержащих продукты взаимодействия напыляемых материалов с продуктами детонации и газом-носителем для широкого спектра материалов. Исследования проведены с использованием установки детонационного напыления с компьютерным контролем процесса и возможностью гибкого изменения параметров напыления. Установлены закономерности протекания химических реакций (окисления, восстановления, карбидообразования и нитридирования) в зависимости от мольного соотношения O_2/C_2H_2 и природы газа-носителя. Показано, что в условиях взаимодействия частиц порошка с газообразными компонентами атмосферы напыления образуются покрытия из чередующихся слоев, различающихся по составу.

7. Показано, что с помощью неравновесного компактирования порошковых смесей, содержащих частицы металлического стекла (аморфного металлического сплава), возможно получение беспористых компактов при сохранении аморфной структуры упрочняющей фазы. Показана возможность использования частиц металлических стекол в качестве упрочняющих фаз для композитов с металлическими матрицами.

Практическая значимость результатов. В диссертационной работе разработаны композиты B_4C-TiB_2 с повышенной трещиностойкостью по сравнению с карбидом бора. Данные материалы перспективны для применения в бронекерамических изделиях и защитных элементах. Разработаны композиты TiB_2-Cu , обладающие высокой электропроводностью и механической прочностью и перспективные для электротехнических применений. Определены условия образования наноразмерных частиц серебра в покрытиях TiO_2-Ag , что является важным для создания покрытий с антибактериальными свойствами. Показана возможность применения композиций TiO_2-Ag для создания антибактериальных покрытий на хирургической нити при отсутствии токсичности. Выявлены возможности синтеза соединений и материалов, в том числе с метастабильной структурой, при детонационном напылении. Результаты исследований закономерностей физико-химического поведения материалов при детонационном напылении используются в ООО «НПО Спецпокрытие» и ООО «ИВК Эталон» при оптимизации режимов нанесения покрытий.

Достоверность и обоснованность результатов работы, выводов и рекомендаций определяется использованием современных аналитических методов для

определения состава и структуры материалов, воспроизводимостью результатов, применением стандартных методик статистической обработки полученных данных, а также соответствием результатов, полученных различными методами исследований. Несомненным достоинством работы является тот факт, что для выполнения поставленной цели автором были задействованы международные ресурсы: исследования проводились не только на оборудовании, имеющемся в России, но и в США, Южной Корее и Франции.

Результаты диссертационной работы Дудиной Д. В. в должной мере опубликованы в рецензируемых научных изданиях. По теме работы опубликовано 55 работ, из них 43 статьи в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в Web of Science и Scopus, а также журналах, входящих в список ВАК, 3 монографии, 7 статей в прочих изданиях, 1 статья в справочном издании издательства Elsevier, получен 1 патент.

Автореферат и диссертация аккуратно оформлены, автореферат полностью отражает содержание диссертации.

По диссертационной работе можно сделать следующие замечания:

1. Формулировки положений, выносимых на защиту, не убедительны: в положениях 1 и 4 выносятся на защиту «возможность», положение 1 показано только для спекания порошка меди, возможно оно не будет выполняться для других порошков.

2. Отсутствует объяснение физических причин повышения трещиностойкости керамических композитов V_4C-TiB_2 : традиционно повышение трещиностойкости связывают с появлением пластичной фазы, способной релаксировать возникающие при термоциклах напряжения, в качестве которой обычно выступают твердые растворы на основе металлов, а в данных композитах обе фазы достаточно хрупкие с сильными ковалентными связями между атомами.

3. Недостаточно четко сформулированы закономерности формирования фазового состава и структуры композиционных материалов и покрытий в условиях неравновесного компактирования и импульсных воздействий: приведенные результаты и выводы носят частный характер и исследованы на определенных материалах, не ясно, будут ли полученные особенности формирования структуры и свойств сохраняться для других материалов.

Указанные замечания не снижают общую положительную оценку работы и научную и практическую значимость полученных автором результатов.

Содержание диссертации соответствует пунктам 1, 2, 4 и 10 паспорта научной специальности 05.16.09 – материаловедение (в машиностроении).

Диссертация Дудиной Д. В. соответствует требованиям пункта 9 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК Российской Федерации (Постановление Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842), касающихся диссертаций на соискание ученой степени доктора наук. Диссертационная работа Дудиной Д. В. является научно-квалификационной работой, содержащей новые научно обоснованные технические решения, внедрение которых вносит существенный вклад в развитие технологий получения композиционных материалов, а ее автор Дудина Дина Владимировна заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.16.09 - материаловедение (в машиностроении).

Официальный оппонент:

Главный научный сотрудник лаборатории
микромеханики материалов
Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Института машиноведения
Уральского отделения Российской академии наук
доктор технических наук (05.02.01),
доцент

Пугачева Наталия Борисовна

Служебный адрес:

620049, Екатеринбург, ул. Комсомольская, д. 34
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт машиноведения Уральского отделения Российской академии наук
(ИМАШ УрО РАН)
Тел. +7 (343) 374-47-25, e-mail: ges@imach.uran.ru,
официальный сайт организации <http://www.imach.uran.ru/>

Подпись главного научного сотрудника доктора технических наук доцента Пугачевой
Наталии Борисовны

Ученый секретарь

к.т.н.

Поволоцкая А.М.

Востужин В.С.
16.11.2017

Тюмин А.Р.

С отзывом ознакомлена
20.11.2017 Дудина Д.В.