

## 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 по специальности 05.16.09 - Материаловедение (в машиностроении)

Диссертация посвящена исследованию процессов формирования структуры и свойств материалов, полученных в условиях неравновесного компактирования методами электроискрового спекания и спекания при помощи индукционного нагрева, при детонационном напылении и в условиях действия однократных импульсов электрического тока.

**Актуальность темы** диссертации связана с тем, что в последние годы расширяется интерес к использованию неравновесных процессов компактирования и спекания, позволяющих сохранять характеристики материалов и наноматериалов, присущие частицам порошка, а также контролировать процессы роста зерна и эволюции фазового состава при получении из порошка конструкционных или функциональных материалов. В диссертационной работе рассмотрен достаточно широкий набор технологических процессов, использующих высокоскоростное компактирование и локально неоднородный нагрев в условиях электроискрового спекания, спекания под действием однократных импульсов электрического тока и с использованием индукционного нагрева. Актуальность работы подтверждается тем, что она выполнялась при финансовой поддержке грантов РФФИ и проектной части государственного задания. Поэтому тему диссертации следует считать актуальной.

Диссертация содержит 296 страниц основного текста, состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы из 512 наименований и приложений. Общий объем диссертации с 3 приложениями составляет 305 страниц.

*Во введении* содержится обоснование актуальности и новизны темы, сформулирована цель и задачи исследования, изложено содержание диссертации.

*В первой главе* рассмотрены физические основы процессов электроискрового спекания, обработки единичными импульсами электрического тока, горячего прессования с использованием индукционного нагрева, а также формирования покрытий в условиях импульсных термических и динамических воздействий при детонационном напылении порошков. На основе проведенного обзора сформулированы цель и задачи исследований.

*Во второй главе* описаны постановка и результаты экспериментальных исследований, направленных на определение перехода вещества в плазменное состояние в пространстве между частицами в процессах электроискрового спекания.

*В третьей главе* представлены результаты исследований образования керамических композитов реакционным электроискровым спеканием порошковых смесей титана, бора, кремния и углерода различного состава.

*В четвертой главе* исследованы возможности получения и свойства композитов с металлическими матрицами, содержащими дисперсные включения метастабильных фаз, например, аморфных металлических сплавов.

В пятой главе представлены исследования формирования микроструктуры при электроискровом спекании и детонационном напылении материалов систем, в которых не происходит межфазных химических взаимодействий при повышении температуры вплоть до появления жидкой фазы.

В шестой главе представлены данные о практическом использовании результатов исследований и применении полученных научных знаний в учебном процессе.

**Значимость результатов для науки.** Отметим основные результаты, определяющие, по мнению диссертанта, научную новизну и значимость работы:

1. На примере спекания порошка меди впервые показана возможность уменьшения среднего размера кристаллитов в компактах, полученных электроискровым спеканием, относительно порошкового состояния. Предложены механизмы уменьшения размера кристаллитов в пористом спеченном материале относительно исходного порошка.

2. Впервые применен метод *in situ* атомно-эмиссионной спектроскопии для анализа вещества в межчастичном пространстве компактов в процессе электроискрового спекания для исследования вопроса о возможном присутствии вещества в плазменном состоянии. Метод *in situ* атомно-эмиссионной спектроскопии позволил показать отсутствие переходов вещества в плазменное состояние в процессах электроискрового спекания.

3. Показано, что при электроискровом спекании композиционных агрегатов, полученных механической обработкой порошковых реагентов в высокоэнергетической мельнице, важную роль в микроструктурных изменениях и фазовых превращениях в спекаемом материале играет морфология агрегатов.

4. На примере получения композитов  $B_4C-TiB_2$  синтезом в смеси порошков  $Ti-B-C$ , совмещенным со спеканием, показано, что в случае присутствия в структуре композитов агрегатов частиц фазы с более высокой температурой плавления, электроискровое спекание не позволяет устранить пористость, связанную с недостаточным спеканием частиц в объеме агрегатов.

5. Определены состав и структура покрытий, содержащих продукты взаимодействия напыляемых материалов с продуктами детонации и газом-носителем для широкого спектра материалов с использованием оборудования нового поколения с возможностью гибкого изменения и контроля параметров процесса детонационного напыления. Выявлено существенное влияние небольших изменений объема взрывчатой смеси и соотношения  $O_2/C_2H_2$  на фазовый состав и структуру покрытий. Установлены закономерности протекания реакций окисления, восстановления, карбидообразования и нитрирования в зависимости от соотношения  $O_2/C_2H_2$  и природы газа-носителя.

6. На примерах аморфных металлических сплавов на основе циркония и меди впервые показана принципиальная возможность использования частиц металлических стекол в качестве упрочняющих фаз для композитов с матрицами из сплавов алюминия и магния. Показано, что с помощью неравновесного компактирования порошковых смесей, содержащих частицы металлического стекла, возможно получение беспористых компактов при сохранении аморфной структуры упрочняющей фазы.

Все представленные результаты являются новыми.

**Практическая значимость** диссертационной работы определяется возможностью использования представленных обобщений экспериментальных результатов для создания ряда систем композиционных материалов для бронекерамических защитных элементов,



высокопрочных электрических контактов, полученных детонационным напылением покрытий, бактерицидных хирургических нитей.

Диссертация является результатом завершенной научно-исследовательской работы автора.

**Достоверность и обоснованность** приводимых в работе результатов, выводов и рекомендаций определяется использованием современных высокоточных методов анализа состава и структуры материалов, воспроизводимостью результатов, применением стандартных методик статистической обработки экспериментальных данных, соответствием результатов, полученных различными методами исследований, подтверждается отсутствием противоречий между сделанными выводами и современными представлениями о механизмах процессов, протекающих в неравновесных условиях в компактируемых порошковых материалах.

Автореферат и список публикаций полностью отражают содержание диссертации. Основные результаты работы опубликованы в 55 работах, из них 43 статьи в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в *Web of Science* и *Scopus*, а также журналах, входящих в список ВАК, 3 монографии (одна из монографий индексируется в *Scopus*), 7 статей в прочих изданиях, 1 статья в справочном издании издательства *Elsevier*, получен 1 патент.

#### **По работе можно сделать следующие замечания:**

1. Сформулированные пункты научной новизны во многих случаях страдают излишней категоричностью и не содержат указаний на границы областей, в которых они справедливы. Например, во втором пункте указано, что «метод *in situ* атомно-эмиссионной спектроскопии позволил показать отсутствие переходов вещества в плазменное состояние в процессах электроискрового спекания». В то же время в приведенном в тексте диссертации описании работ Сондерса с соавторами показано, что при более высоких напряжениях тот же метод атомно-эмиссионной спектроскопии позволил наблюдать переход вещества в плазменное состояние.

2. Не совсем понятно объяснение выбора для исследования физико-химических процессов, происходящих между отдельными частицами при электроискровом спекании модельной системы Fe-Cu, как несмешивающейся (хорошо известно, что эта система содержит твердые растворы с ограниченной растворимостью).

3. При рассмотрении морфологических изменений при взаимодействии между частицами железа и алюминия не описывается влияние на протекание процессов массопереноса оксидных пленок на поверхности алюминиевых частиц, которые не могли в условиях изучаемого процесса восстанавливаться твердым углеродом или газообразным оксидом углеродом.

4. В главе 3 исследована структура детонационных покрытий из порошка титана, подвергнувшегося нитрированию непосредственно в процессе нанесения покрытия. Пониженную твердость покрытий с нитридами титана по сравнению с покрытиями, упрочненными оксидами титана, диссертант объясняет их более высокой пористостью. Однако анализ причин изменения пористости покрытия при варьировании состава детонационной смеси и возможности его оптимизации с учетом изменения химического состава продуктов детонации, температуры и скорости в тексте диссертации отсутствует.

5. Диссертацию бы украсили термодинамические обоснования вероятности образования различных фаз при взаимодействии порошков металлов и их соединений с продуктами детонаций. Например, большая устойчивость соединения  $Ti_3Al_3$  к окислению или нитридации по сравнению с другими алюминидами ( $Ti_3Al$  и  $TiAl$ ) легко объясняется с позиции проведенных *Kattner U.R.* расчетов свободных энергий алюминидов титана.

**Заключение.** Диссертация по области исследования соответствует пунктам 1, 2, 4 и 10 паспорта научной специальности 05.16.09- Материаловедение (в машиностроении):

П.1. Теоретические и экспериментальные исследования фундаментальных связей состава и структуры материалов с комплексом физико-механических и эксплуатационных свойств с целью обеспечения надежности и долговечности материалов и изделий.

П.2. Установление закономерностей физико-химических и физико-механических процессов, происходящих на границах раздела в гетерогенных структурах.

П. 4. Разработка физико-химических и физико-механических процессов формирования новых материалов, обладающих уникальными функциональными, физико-механическими, эксплуатационными и технологическими свойствами, оптимальной себестоимостью и экологической чистотой.

П. 10. Разработка покрытий различного назначения (упрочняющих, износостойких и других) и методов управления их качеством.

Работа выполнена в соответствии с требованиями п. 9 и 10 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК Российской Федерации (Постановление Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842), предъявляемыми к докторским диссертациям. Представленная диссертация является научно-квалификационной работой, которая содержит новые научно обоснованные технические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в создание перспективных композиционных материалов и покрытий, а Дудина Дина Владимировна заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.16.09 - Материаловедение (в машиностроении).

Заведующий кафедрой «Материаловедение и композиционные материалы» Волгоградского государственного технического университета, доктор технических наук (специальность 05.16.09 - Материаловедение (в машиностроении)),  
доцент



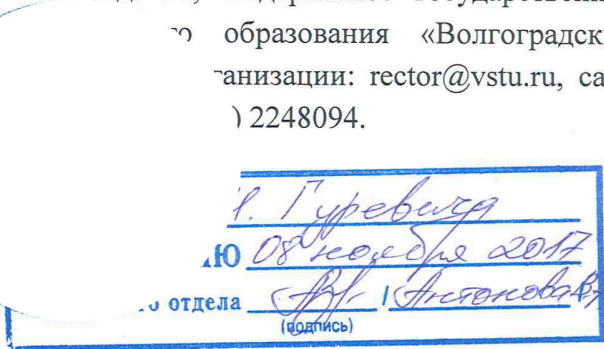
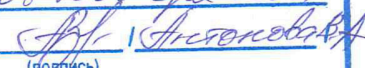
Гуревич Леонид Моисеевич

Служебный адрес:

400005, г. Волгоград, пр. им. В.И. Ленина, д. 28, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный технический университет» (Волгоградский национальный исследовательский университет), филиал «Волгоградский государственный технический университет» (Волгоградский филиал) организации <http://www.vstu.ru/>, сайт [rector@vstu.ru](mailto:rector@vstu.ru), сайт 2248094.

Получено в совет 23.11.2017  
 Тюрин А.В.

С отзывом ознакомлена 24.11.2017  
 Дудин С.В.

  
Л. Гуревича  
10 08 ноября 2017  
отдела   
(подпись)