

## УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной и инновационной работе ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. Г.И. Носова»,  
канд. хим.

« 29 » / 1

ев

## ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу  
Рябинкиной Полины Андреевны

«Структура и свойства композиционных покрытий системы медь-хром, полученных методом детонационного напыления», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 – Материаловедение

### Актуальность диссертационной работы

Диссертационная работа Рябинкиной П.А. посвящена решению актуальной проблемы современного материаловедения, связанной с разработкой композиционных покрытий с медной матрицей для их применения при изготовлении электрических контактов. В представленной диссертации с использованием метода детонационного напыления получены медно-хромовые покрытия. Научный и практический интерес представляют проведенные автором исследования процессов нагрева и охлаждения, а также деформации частиц и подложки в условиях детонационного напыления. Кроме того, актуальными являются исследования, посвященные оценке влияния параметров детонационного напыления и составов исходных порошковых смесей на комплекс свойств формируемых покрытий.

Содержание пяти разделов диссертации, введения, заключения, списка литературы в полной мере отражают логику, методологию, результаты и выводы проведенных исследований. Автореферат достаточно полно отражает основные положения и результаты диссертации.

**Во введении** обоснована актуальность темы исследования, отражена степень ее разработанности, сформулированы цель и задачи работы, положения, выносимые на защиту; представлены научная новизна работы, теоретическая и практическая значимость, степень достоверности и апробация полученных результатов; отражен личный вклад автора, приведен перечень проектов, в рамках которых выполнены исследования.

**В первом разделе** представлен аналитический обзор методов получения композиционных материалов на основе меди, приведены свойства формируемых композитов. Описаны основные методы газотермического напыления покрытий,

проведен анализ особенностей структуры и свойств композиционных покрытий с медной матрицей.

**Во втором разделе** описаны материалы исследования, оборудование для детонационного напыления покрытий, режимы получения образцов, методы определения механических, физических и эксплуатационных свойств разработанных материалов. Дано описание используемого метода моделирования и применяемые модели материалов, представлена постановка задачи.

**Третий раздел** работы посвящен исследованию формы единичных сплэтов, формируемых при детонационном напылении медного порошка на стальные и медные подложки при использовании различных параметров напыления. Кроме того, в разделе подробно описывается структура полученных образцов. Процесс взаимодействия частицы и подложки при напылении исследовался с использованием моделирования методом гидродинамики сглаженных частиц. Автор отмечает, что данный метод адекватно воспроизводит основные особенности поведения материалов частицы и подложки в процессе напыления. В частности, показано, что геометрические параметры сплэтов, сформированных экспериментально и в ходе моделирования, хорошо согласуются между собой. С использованием методов оптической и растровой электронной микроскопии, рентгеноструктурного анализа проведены исследования медных покрытий, полученных на разных режимах напыления. Установлено, что в покрытиях, независимо от параметров напыления, возрастает плотность дислокаций, уменьшаются размеры ОКР, а также увеличивается доля винтовых дислокаций в структуре по сравнению с исходным порошком меди.

**В четвертом разделе** приводятся обоснования выбора фракционного состава порошковых смесей, использованных для напыления композиционных покрытий, дистанции напыления и объема заполнения ствола установки взрывчатой смесью. На основании проведенных исследований определены условия формирования медно-хромовых покрытий, обладающих наиболее благоприятным комплексом свойств и лучшим соответствием составов покрытий исходным порошковым смесям. Исследованы особенности структурно-фазового состояния и свойства полученных образцов. Оценена стойкость материалов к электродуговой эрозии, показано, что на поверхности композиционных покрытий, содержащих от 33 до 43 масс. % хрома, выбросы металла, приводящие впоследствии к интенсификации эрозии, не образуются.

**В пятом разделе и в приложениях** отражено практическое применение результатов проведенных исследований на предприятиях, деятельность которых связана с производством электрооборудования, а также с нанесением покрытий различного назначения.

**В заключении** сформулированы основные выводы по проведенной работе и представлены перспективы дальнейшего развития темы исследования.

**Основные научные результаты и их значимость для науки и производства.** Представленная диссертационная работа по структуре и содержанию полно-

стью соответствует поставленной цели и задачам. Полученные в рамках выполнения диссертации результаты обладают научной новизной.

Рябинкиной П.А. проведены подробные исследования процессов, имеющих место при взаимодействии отдельных частиц порошка и материала подложки. Установлено, что при столкновении нагретой, но не расплавленной, частицы порошка с подложкой возможно плавление локальных микрообъемов материала частицы. Структурные исследования позволили установить, что в результате детонационного напыления формируется материал, характеризующийся высокой плотностью дислокаций, большая часть которых может быть отнесена к винтовым.

Также соискателем проведены исследования, позволившие определить технологические параметры детонационного напыления, с использованием которых формируются качественные медно-хромовые композиционные покрытия. Определено, что для обеспечения стойкости к формированию выбросов металла при воздействии электрической дуги, содержание хрома в покрытиях должно составлять 33–43 масс. %.

Полученные соискателем результаты расширяют представления о процессах, сопутствующих взаимодействию частиц порошка и подложки в условиях детонационного напыления, и особенностях формирования композиционных покрытий системы медь-хром со структурой псевдосплавов.

**Практическое значение результатов работы** заключается в демонстрации эффективности подхода, основанного на сочетании экспериментальных методов исследования и численного моделирования, для анализа процессов, происходящих при напылении покрытий, а также для оптимизации режимов их получения. Результаты исследований, представленные в диссертации, используются в производственной деятельности ООО «Сибирские технологии защитных покрытий». На основании проведенных исследований были разработаны технологические рекомендации по составам порошковых смесей и параметров детонационного напыления медно-хромовых композиционных покрытий. Данные рекомендации были переданы для использования в производственной деятельности ООО «Коммутационные, электронные, преобразовательные системы».

Результаты диссертационной работы применяются в учебном процессе Новосибирского государственного технического университета при подготовке бакалавров и магистров, обучающихся по направлениям «Материаловедение и технологии материалов» и «Наноинженерия».

**Достоверность научных положений, результатов и выводов** подтверждается использованием современного аналитического и испытательного оборудования, уровень которого соответствует передовым материаловедческим лабораториям. Представленные в диссертационной работе результаты не противоречат данным, приведенным в научно-технической литературе по теме исследования. На основании полученных в работе результатов опубликованы статьи в ведущих рецензируемых журналах, представлены доклады на Всероссийских и международных научных конференциях.

**По диссертационной работе П.А. Рябинкиной имеются следующие вопросы и замечания:**

1. В диссертации не приводится детальное описание методики получения сплэтов. Навеска какой массы подавалась в ствол установки для формирования сплэта? С учетом того, что сплэт имеет характерные размеры порядка 100...120 мкм, проводилась ли оценка количества сплэтов, формируемых на подложке в результате единичного цикла напыления? В случае, если за 1 цикл образуются несколько сплэтов, по какому критерию выбиралась зона подложки, где проводился анализ структуры сформированного сплэта?

2. При численном моделировании процесса соударения частицы с подложкой (п. 3.4 диссертации) автор, по всей видимости, использует теоретические значения температуры и скорости частиц, полученные на вылете из ствола установки. Учитывалась ли при моделировании дистанция напыления, которая оказывает влияние на изменение температуры и скорости частицы в момент соударения с подложкой?

3. В работе не приведено описание методики оценки коэффициента использования порошка.

4. Результаты оценки структурных характеристик, таких как плотность дислокаций и размер однородной кристаллической решетки, представлены только для покрытий, состоящих из чистой меди. Было бы интересно исследовать влияние добавки хрома на эти микроструктурные характеристики.

Указанные замечания не снижают ценность и значимость диссертационной работы.

#### **Соответствие содержания диссертации указанной специальности**

По целям, задачам, содержанию, методам исследования, новизне, практической значимости и выводам диссертация соответствует пунктам 1, 2, 9, 11, 16 паспорта научной специальности 2.6.17 – Материаловедение.

#### **Заключение**

Представленная к защите диссертация Рябинкиной Полины Андреевны «Структура и свойства композиционных покрытий системы медь-хром, полученных методом детонационного напыления» имеет как научную, так и практическую значимость. Автореферат и публикации в научных изданиях подробно отражают содержание диссертационной работы. Выводы по диссертации являются достаточно полными, логичными и обоснованными. Текст диссертации написан корректным научно-техническим языком и подробно иллюстрирован графическим материалом.

Диссертационная работа Рябинкиной П.А. полностью соответствует требованиям, предъявляемым Положением о присуждении ученых степеней (п. 9). Исследования, представленные в диссертации, являются законченной научной работой, которая выполнена на актуальную тему и содержит новые результаты. На основании изложенного автор работы Рябинкина Полина Андреевна заслуживает

присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17  
– Материаловедение.

Отзыв обсужден и одобрен на научном семинаре Производственного внедренческого комплекса прикладных исследований и разработок (ПВКПИР) и Проблемной научно-исследовательской лаборатории самораспространяющегося высокотемпературного синтеза им. В.В. Евстигнеева Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова».

Председатель семинара, директор Производственного внедренческого комплекса прикладных исследований и разработок Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», доктор технических наук, профессор



Ситников Александр Андреевич

Секретарь семинара, старший научный сотрудник Проблемной научно-исследовательской лаборатории самораспространяющегося высокотемпературного синтеза им. В.В. Евстигнеева Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», кандидат технических наук, доцент



Собачкин Алексей Викторович

28 ноября 2024 г.

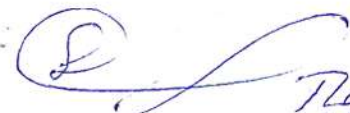
Подписи Ситникова А.А. и Собачкина А.В. за



*наблюдать*  
*12.12*

Служебный адрес:

656038, Российская Федерация, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждения высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», тел. +7 (3852) 290-710. Email: altgtu@list.ru, официальный сайт организации www.altstu.ru

*Получено в печать 02.12.2024*  *Петров И.И.*  
*С отзывом ознакомлена 03.12.2024* *Редькина* <sup>5</sup> *ТТ*