

решение диссертационного совета от 21 ноября 2018 года № 83

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА

на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук» о присуждении Михееву Роману Сергеевичу, гражданину РФ, ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «Перспективные покрытия с повышенными триботехническими свойствами из композиционных материалов на основе цветных металлов», в виде рукописи, по специальности 05.16.06 «Порошковая металлургия и композиционные материалы» принята к защите 25 июня 2018 года, протокол № 79, диссертационным советом Д 002.060.02 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук, 119334, г. Москва, Ленинский проспект, 49, приказ Минобрнауки РФ № 714/нк от 02.11.2012г.

Соискатель МИХЕЕВ Роман Сергеевич родился в 1983 году.

В 2006 году окончил Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана с присвоением квалификации инженер по специальности «Оборудование и технология сварочного производства».

В 2010 году Михеевым Р.С. в Институте металлургии и материаловедения имени А.А. Байкова РАН была защищена диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук на тему «Разработка износостойких дисперсно-наполненных композиционных материалов и покрытий из них» по специальности 05.16.06 - «Порошковая металлургия и композиционные материалы».

В лаборатории «Прочности и пластичности металлических и композиционных материалов и наноматериалов» ФГБУН Институт металлургии и материаловедения им. А.А.Байкова Российской академии наук (ИМЕТ РАН) им выполнена докторская диссертация на тему «Перспективные покрытия с повышенными триботехническими свойствами из композиционных материалов на основе цветных металлов», в виде рукописи, по специальности 05.16.06 «Порошковая металлургия и композиционные материалы».

В период подготовки диссертации Михеев Р.С. работал старшим научным сотрудником лаборатории «Прочности и пластичности металлических и композиционных материалов и наноматериалов» ФГБУН Институт металлургии и материаловедения им. А.А.Байкова Российской академии наук (ИМЕТ РАН).

Научный руководитель КОЛМАКОВ Алексей Георгиевич, член-корр. РАН, доктор технических наук, заведующий лабораторией «Прочности и пластичности металлических и композиционных материалов и наноматериалов», заместитель директора ИМЕТ РАН.

Официальные оппоненты:

КАРПОВ Михаил Иванович, доктор технических наук, член-корреспондент РАН, заведующий лабораторией «Материаловедения» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики твердого тела Российской академии наук, г. Черноголовка;

ЛЕВАШОВ Евгений Александрович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Порошковой металлургии и функциональных покрытий» ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва;

ЛОГАЧЕВА Алла Игоревна, доктор технических наук, начальник отделения Металлических материалов и металлургических технологий АО «Композит», г. Королев; дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация АО «Корпорация «Московский институт теплотехники», г. Москва, в своем положительном заключении, составленном заместителем генерального конструктора - Главным технологом Челышевым С.В., ученым секретарем научно-технического совета Отделения специальных технологий Лепилиной Н.И. и утверждённом Главным инженером - первым заместителем генерального директора АО «Корпорация «Московский институт теплотехники», Полуниным В.Д., указала, что диссертационная работа по актуальности темы, научной новизне, практической значимости, объёму выполненных исследований, полноте освещённости результатов в технической литературе отвечает критериям, предъявляемым к докторским диссертациям «Положения о присуждении ученых степеней».

Соискатель имеет 99 опубликованных работ, из них по теме диссертации опубликовано 78 научных работ, в том числе 31 статья в изданиях, входящих в перечень ведущих российских рецензируемых научных журналов, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, 2 патента РФ и 1 монография. Общий объем работ по теме диссертации составляет 48,44 печатных листов (авторский вклад 75%). Содержание диссертации достаточно полно отражено в опубликованных работах.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации и личный вклад автора:

1. Михеев, Р.С. Разработка композиционных материалов системы Al-Ti-TiC / Р.С. Михеев, И.Е. Калашников, Л.И. Кобелева, Т.А. Чернышова // Физика и химия обработки материалов. - 2009. - №3. - С. 85-90.

2. Михеев, Р.С. Создание градиентных структур с повышенной износостойкостью / Р.С. Михеев, Т.А. Чернышова, Н.В. Коберник, А.М. Рыбачук, Г.Г. Чернышов // Тяжелое машиностроение. - 2010. - №9. - С. 11-15.

3. Михеев, Р.С. Дисперсно-наполненные композиционные материалы Al-TiC / Р.С. Михеев, Т.А. Чернышова, Л.И. Кобелева // Цветные металлы. - 2011. - №1. - С. 14-22.

4. Михеев, Р.С. Влияние состава присадочных композиционных материалов на жидкотекучесть сварочной ванны / Р.С. Михеев, Н.В. Коберник, Г.Г. Чернышов // Сварка и диагностика. - 2012. - №6. - С. 11-15.

5. Михеев, Р.С. Алюмоматричные композиционные материалы с карбидным упрочнением для решения задач новой техники / Р.С. Михеев, Т.А. Чернышова - М.: ИПЦ «Маска», 2013. – 356 с.

6. Михеев, Р.С. Триботехнические свойства антифрикционных покрытий на основе композиционных материалов / Р.С. Михеев, Н.В. Коберник, И.Е. Калашников, Л.К. Болотова, Л.И. Кобелева // Перспективные материалы. - 2015. - №3. - С. 48-54.

7. Михеев, Р.С. Применение наплавочных прутков из композиционных материалов на основе баббита Б83 для получения антифрикционных покрытий методом дуговой наплавки / Р.С. Михеев, Н.В. Коберник, И.Е. Калашников, Л.К. Болотова, П.А. Быков, Л.И. Кобелева, А.Г. Колмаков // Перспективные материалы. - 2017. - №2. - С. 51-58.

8. Mikheev, R.S. Tribological properties of Babbitt alloy coatings modified with carbon nanotubes / R.S. Mikheev, N.V. Kobernik, I.E. Kalashnikov, L.I. Kobeleva, L.K. Bolotova // Inorganic materials: Applied research. – 2017. - Vol.8. -№3. - P. 428-433.

9. Калашников, И.Е. Технологические режимы получения и свойства наплавочных прутков и антифрикционных покрытий из композиционного материала на основе сплава системы SnSbCu / И.Е. Калашников, А.Г. Колмаков, Л.К. Болотова, П.А. Быков, Л.И. Кобелева, Р.С. Михеев, М.Л. Хейфец // Физика и химия обработки материалов. - 2018. - №1. - С. 33-41.

10. Михеев, Р.С. Инновационные пути в создании антифрикционных композиционных покрытий на основе цветных сплавов с повышенными триботехническими свойствами / Р.С. Михеев // Заготовительные производства в машиностроении. – 2018. - №5. – С. 204-210.

Личный вклад автора в перечисленных публикациях состоял в проведении экспериментов, анализе, обработке данных и интерпретации полученных результатов.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

Главного научного сотрудника ФГБОУ ВО «Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого», доктора технических наук, профессора А.Е. Гвоздева; Заведующего кафедрой «Материаловедение и композиционные материалы» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», доктора технических наук, старшего научного сотрудника, доцента Л.М. Гуревича; Директора ООО «Аттестационный центр городского хозяйства», кандидата технических наук В.Н. Бродягина и Главного инженера, доктора технических наук Ю.В. Доронина; Генерального директора ООО Научно-производственное предприятие «Вулкан ТМ», доктора технических наук, профессора В.И. Золотухина; Профессора кафедры «Материаловедение» ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана», доктора технических наук Ю.А. Кургановой; Профессора кафедры «Технологии металлов» ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», доктора технических наук, профессора В.М. Матюнина; Генерального директора ООО Научно-производственное предприятие «ТЕЛАР», лауреата Государственной премии РФ, почетного машиностроителя РФ И.В. Минаева; Заведующего лабораторией

«Физики поверхностных явлений» ФГБУН «Института физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук», доктора физико-математических наук, доцента А.В. Панина; Академика-секретаря отделения физико-технических наук Национальной академии наук Беларуси, академика НАН Беларуси, доктора технических наук А.П. Ласковнева и заместителя академика-секретаря отделения физико-технических наук Национальной академии наук Беларуси, доктора технических наук, профессора М.Л. Хейфеца; Заведующего кафедрой «Теория и технология сварки металлов» ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», доктора технических наук, доцента С.Г. Паршина; Заместителя директора НТЦ-3 «Плазменных технологий» АО «Московский радиотехнический институт Российской академии наук», доктора физико-математических наук А.А. Раваева; Заведующего кафедрой «Металловедение, порошковая металлургия, наноматериалы», ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», доктора физико-математических наук, профессора А.П. Амосова; Руководителя аппарата Национальной академии наук Беларуси, академика НАН Беларуси, доктора технических наук, профессора П.А. Витязя; Заместителя начальника Научно-производственного комплекса НИЦ «Курчатовский институт» - ЦНИИ КМ «Прометей», доктора технических наук А.В. Анисимова.

Все отзывы положительные. В отзывах содержатся критические замечания, например:

- Недостатком автореферата является отсутствие данных о влиянии армирования композиционных покрытий на износ контртела.

- К недостаткам работы можно отнести отсутствие в автореферате подробного описания воздействия термического цикла процесса дуговой наплавки композиционного материала на сталь по схеме с частичным проплавлением промежуточного алюминиевого слоя, на дискретный слой в виде «оплавов» из интерметаллидов системы Fe-Al, сформировавшийся в процессе сварки взрывом.

- В автореферате не представлена исчерпывающая информация о математической модели, учитывающей теплофизические свойства диффузионного слоя, состоящего из интерметаллидов системы Fe-Al, и позволяющей с погрешностью до 8% определять температуру нагрева в любой точке образца при наплавке на сталь

алюмокремниевого покрытия с частичным проплавлением промежуточного алюминиевого слоя.

- В автореферате не приведены значения упругих характеристик материалов, а было бы интересно узнать, например, характер их изменения в зависимости от доли наполнителя в составе наплавочных прутков.

- Представляет также практический интерес склонность к хрупкому разрушению разработанных покрытий с повышенными значениями твердости. Известно, что с увеличением твердости покрытий в них могут зарождаться и распространяться трещины под воздействием эксплуатационных нагрузок. Для оценки трещиностойкости покрытий можно использовать микроиндентирование, например, по методу Эванса - Чарльза.

- На графиках, приведенных в автореферате, желательно было бы указать доверительные интервалы (например, рис. 18, график а, описывающий изменения коэффициента трения от удельного давления).

- В автореферате не представлены сведения о влиянии непостоянства химического состава применяемых шунгитовых пород на свойства получаемых композиционных покрытий.

- Рисунки и графики часто представлены без надлежащего анализа и обсуждения. В частности, достаточно поверхностно описана схема образования и роста интерметаллидов на границе раздела сталь-алюминия (рис.12), которая представляет несомненный интерес.

- Из текста автореферата не ясен механизм и причины регулярного распределения дисперсных фаз в результате модифицирующей обработки полуфабрикатов композиционных материалов на основе алюминия.

- В автореферате отсутствуют данные о поведении дисперсных фаз при лазерной обработке материалов, которая также характеризуется высокими скоростями охлаждения.

- В описании технологии наплавки отсутствуют сведения о параметрах используемого тока.

- Используемое диссертантом выражение «характер интерметаллидного слоя» является не совсем удачным, когда речь идет о его структуре, фазовом составе или морфологии фаз.

- Полученные автором актуальные научные и практические результаты могут быть защищены большим количеством различных патентоохранных документов.

На все критические замечания даны подробные и исчерпывающие ответы (см. стенограмму).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их компетенцией, наличием публикаций и достижений в области порошковой металлургии и композиционных материалов и способностью определить научную и практическую ценность представленной в диссертационный совет диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- разработана новая методика оценки влияния состава композиционных материалов (состав матричного сплава, доля, размер и тип наполнителя) на их технологические свойства (жидкотекучесть, свариваемость, деформируемость), позволяющие изготавливать из них наплавочные материалы и получать композиционные покрытия на подложках из низкоуглеродистой стали или сплавов алюминия.

- предложены новые подходы к изготовлению функционально-градиентных слоистых композиций и покрытий из композиционных материалов (КМ) на основе алюминия, олова и их сплавов за счет применения процессов дуговой и плазменно-порошковой наплавки, а также модифицирующей обработки поверхности изотропных материалов высококонцентрированными источниками энергии. Предложенные подходы позволяют не только создавать изделия с повышенными триботехническими свойствами (увеличение износостойкости до 10 раз, снижение коэффициента трения на 60% по сравнению с традиционными антифрикционными сплавами АО20-1 и Б83), но и осуществлять плановые восстановительные ремонтные работы в процессе их эксплуатации.

- доказана перспективность применения разработанных для триботехнических покрытий составов КМ на основе алюминия, олова и их сплавов и развитых в работе прогрессивных процессов синтеза функционально-градиентных слоистых компози-

ций и покрытий из композиционных материалов. Доказано наличие закономерности влияния не только толщины интерметаллидного слоя системы Fe-Al, но и его характера на адгезионную прочность полученных на стальном основании композиционных покрытий на основе алюминия.

введены применительно к процессу дуговой наплавки с полным проплавлением предварительно нанесенного на поверхность стали промежуточного алюминиевого слоя представления о механизме образования интерметаллидного слоя, отличительной особенностью которого является контакт алюмокремниевых расплава не с поверхностью стали, а с имеющимся на границе раздела интерметаллидным слоем системы Fe-Al. Введены представления о решающем влиянии характера интерметаллидного слоя системы Fe-Al на адгезионную прочность полученных на стальном основании композиционных покрытий на основе алюминия.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что установлена зависимость между температурой нагрева границы раздела подложка-промежуточный слой и адгезионной прочностью функционально-градиентной слоистой композиции сталь-алюминий, позволяющая обеспечить нормативные значения адгезионной прочности за счет определения критических температур нагрева и ограничения теплового воздействия электрической дуги в процессе наплавки.

Применительно к проблематике диссертации результативно использован комплекс существующих базовых методов исследования, в т.ч. численный метод конечных элементов для компьютерного моделирования физических процессов, происходящих в металлах при сварке и наплавке; комплекс экспериментальных методов и методик исследования в области композиционного материаловедения и порошковой металлургии, а именно фазового состава, микроструктуры и равномерности распределения в ней наполнителей и модифицирующих добавок, физических, механических и упругих характеристик, а также специальных технологических испытаний и эксплуатационных триботехнических свойств.

- изложены условия, позволяющие предотвратить при синтезе функционально-градиентных слоистых композиций интенсивное взаимодействие между наполнителями и матричными расплавами, а также между матрицей и материалом подложки в

случаях формирования покрытий из алюмоматричных КМ на основаниях из конструкционной стали.

- раскрыто существенное влияние характера интерметаллидного слоя на прочностные характеристики функционально-градиентных слоистых сталеалюминиевых композиций. Показано, что даже в случае превышения средней толщины дискретного по сравнению со сплошным слоем уровень адгезионной прочности соединения в 2 раза выше.

- изучены процессы образования и роста интерметаллидов при контакте матричного расплава с материалом подложки или интерметаллидами системы Fe-Al при нанесении композиционных покрытий на стальные основания. Выявлены закономерности поведения новых функционально-градиентных слоистых композиций с покрытиями из КМ в условиях трения и износа.

- проведена модернизация алгоритма моделирования тепловых условий процесса дуговой наплавки с помощью программного комплекса «Сварка», позволяющего с погрешностью до 8% определять температуру нагрева в любой точке образца при нанесении на сталь алюмокремниевого покрытия с частичным проплавлением промежуточного алюминиевого слоя.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

- разработаны и внедрены новые составы и технологии, а также изготовлено оборудование для получения наплавочных материалов в виде прутков и гранул из КМ на основе алюминия и олова, позволяющие формировать функционально-градиентные слоистые композиции с повышенными триботехническими характеристиками процессами дуговой и плазменно-порошковой наплавки. Для ООО «Аттестационный центр городского хозяйства» выпущены комплекты конструкторской документации по изготовлению наплавочных материалов из КМ на основе алюминия и олова.

На предприятии ООО НПФ «УралМеталлГрафит» из разработанных КМ системы Al-TiC изготовлена опытно-промышленная партия вкладышей подшипника электродвигателя, применение которых в производстве позволило повысить эксплуатационные характеристики деталей при сохранении требований к их качеству и

надежности, и обеспечило экономический эффект двести тридцать восемь тысяч четыреста рублей.

Для предприятия ООО ТДВ «Евразия» из разработанных КМ системы Sn-Sb-Cu-SiC изготовлены и опробованы опытные втулки Tr 30x3 винтовой направляющей электромеханической системы перемещения в горизонтальной плоскости установки механизированной продольной газокислородной резки труб и тройников.

Разработана и опробована на предприятиях ООО «НПП КУРС» и ООО «НефтеГазМонтаж» новая технология дуговой наплавки для ремонта редукторных механизмов, а также биметаллических вкладышей (сталь-алюминий) подшипников скольжения электродвигателя АО 2-20-83-12У1 с применением изготовленных наплавочных прутков из КМ на основе алюминия.

- определены (на основании расчетов и экспериментальных исследований) схемы и технологические параметры режимов дуговой и плазменно-порошковой наплавки, а также модифицирующей обработки, обеспечивающие получение поверхностных слоев, обладающих композиционной структурой с заданной долей армирования и распределением наполнителя.

- создана модель эффективного применения полученных знаний для создания новых производств, оборудования, реализующих технологии дуговой и плазменно-порошковой наплавки, а также модифицирующей обработки поверхности изотропных материалов высококонцентрированными источниками энергии для изготовления функционально-градиентных слоистых композиций и покрытий из композиционных материалов на основе алюминия, олова и их сплавов с повышенными триботехническими свойствами. Создан расчетный метод определения минимального значения толщины промежуточного алюминиевого слоя, обеспечивающего отсутствие падения прочности функционально-градиентных сталеалюминиевых композиций.

- представлены предложения использования модифицирующей обработки поверхности деталей из разработанных КМ высококонцентрированными источниками энергии (электрической дугой в магнитном поле и лучом лазера) для формирования структуры поверхностных слоев и совершенствования эксплуатационных триботехнических свойств.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- для экспериментальных работ результаты получены на сертифицированном и поверенном оборудовании, с использованием современных измерительных приборов, показана воспроизводимость результатов исследований в различных условиях; экспериментально верифицированы результаты расчета тепловых условий в процессе наплавки.

– теория построена на известных, проверяемых данных, с применением классических подходов в области композиционного материаловедения, термодинамики, контактных явлений, тепловых процессов, трения и износа, теорий прессования и спекания, плавления, численных методов решения дифференциальных уравнений.

- идея базируется на анализе и обобщении мирового и отечественного практического опыта изготовления и исследования функционально-градиентных слоистых композиций и покрытий из дисперсно-наполненных композиционных материалов на основе цветных металлов, обладающих повышенными триботехническими свойствами.

- использовано сравнение авторских данных об эксплуатационных свойствах (триботехнических характеристиках, адгезионной прочности) функционально-градиентных слоистых композиций и покрытий из КМ на основе цветных металлов с данными для изотропных КМ близкого состава, промышленных антифрикционных сплавов на основе алюминия или олова, а также с требованиями, установленными в нормативной документации.

- установлено качественное совпадение авторских результатов с таковыми, представленными в независимых источниках по данной тематике.

- использованы комплексы современных теоретических и экспериментальных исследований, включая стендовые испытания эксплуатационных характеристик.

Личный вклад соискателя состоит в:

- разработке принципов совершенствования научно-технологических основ создания функционально-градиентных слоистых композиций с повышенными триботехническими свойствами на базе конструкционных сталей и сплавов с поверхностными рабочими слоями из КМ на основе цветных металлов;

- разработке новых составов и технологий, а также изготовлении оборудования для получения наплавочных материалов в виде прутков и гранул из КМ на основе алюминия и олова, позволяющих формировать функционально-градиентные слоистые композиции;

- установлении и обосновании взаимосвязи для разработанных наплавочных КМ и покрытий из них между составом матричного сплава, долей, размером и типом наполнителя и их эксплуатационными триботехническими и технологическими свойствами;

- разработке технологий синтеза функционально-градиентных слоистых композиций процессами дуговой и плазменно-порошковой наплавки, а также модифицирующей обработки поверхности изотропных материалов высококонцентрированными источниками энергии;

- проведении исследований, обработке и интерпретации экспериментальных исследований технологических процессов изготовления наплавочных композиционных материалов и синтеза функционально-градиентных слоистых композиций в лаборатории «Прочности и пластичности металлических и композиционных материалов и наноматериалов» ФГБУН Институт металлургии и материаловедения им. А.А.Байкова Российской академии наук (ИМЕТ РАН), на предприятиях ООО НПФ «УралМеталлГрафит», ООО «Аттестационный центр городского хозяйства», ООО «НПП КУРС», ООО «НефтеГазМонтаж», ООО «ПК. Борец» «Центр разработки нефтедобывающего оборудования» (ЦРНО) и ООО ТДВ «Евразия».

- разработке математической модели расчета тепловых условий процесса дуговой наплавки на сталь алюмокремниевого покрытия с частичным проплавлением промежуточного алюминиевого слоя;

- внедрении разработанных теоретических положений при создании и промышленном освоении новых технологий и оборудования;

- подготовке основных публикаций по выполненной работе, включая 31 статью в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Тема диссертации, а также ее проблематика и содержание, соответствуют паспорту специальности 05.16.06 «Порошковая металлургия и композиционные материалы» (области исследований п.2, п.3, п.4, п.5 и п.6).

Диссертация Михеева Романа Сергеевича является научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная задача создания научно-технологических основ изготовления функционально-градиентных слоистых композиций триботехнического назначения процессами дуговой и плазменно-порошковой наплавки, а также модифицирующей обработкой поверхности изотропных материалов высококонцентрированными источниками энергии, что вносит значительный вклад в развитие страны.

На заседании 21 ноября 2018 г. диссертационный совет принял решение присудить Михееву Роману Сергеевичу ученую степень доктора технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 10 докторов наук по специальности 05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение учёной степени - 19, против присуждения учёной степени – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель диссертационного  
совета Д 002.060.02, д.т.н.,  
член-корреспондент РАН

 Г.С.Бурханов

Ученый секретарь диссертационного  
совета Д 002.060.02, д.т.н.

 И.Е.Калашников

21 ноября 2018 года

Подпись Г.С. Бурханова и И.Е. Калашникова заверяю:

Ученый секретарь ИМЕТ РАН, к.т.н.

