

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу
Михеева Романа Сергеевича на тему: «Перспективные покрытия с
повышенными триботехническими свойствами из композиционных материалов
на основе цветных металлов», представленную на соискание ученой степени
доктора технических наук по специальности 05.16.06 – Порошковая
металлургия и композиционные материалы.

Актуальность выбранной темы

Актуальность темы диссертационной работы определяется необходимостью разработки новых композиционных материалов (КМ) с улучшенными характеристиками и технологий их получения для решения конструкторских задач, отвечающих вызовам современного уровня развития мировой экономики. В последние годы Россия, как и многие развитые страны мира, переходит к формированию новой технологической базы экономических систем, основанных на применении новейших достижений науки. В соответствии с Национальной технологической инициативой ключевыми направлениями развития РФ являются создание новых материалов и аддитивных технологий. Указанные направления ставят перед современным материаловедением ряд проблем, без решения которых невозможно добиться прогресса в научно-техническом развитии человечества.

Одной из таких проблем является разработка технологических основ создания функционально-градиентных слоистых композиций различного назначения, в том числе покрытий с повышенными триботехническими характеристиками. Применение подобных материалов, например, при создании подвижных опор скольжения различного оборудования, позволит уменьшить расход дефицитных антифрикционных сплавов, значительно сократить затраты на изготовление узлов трения, а также предоставит возможность проведения оперативных восстановительных ремонтов в

процессе эксплуатации. Наиболее перспективным способом формирования поверхностных рабочих композиционных слоев с матрицами из цветных металлов на подложках из разных материалов являются технологии наплавки и модифицирующей обработки, которые, благодаря своей универсальности и экономичности, могут быть встроены в существующие на предприятиях технологические циклы производства изделий.

В связи с этим разработка технологий формирования новых функционально-градиентных слоистых композиций и покрытий на основе цветных металлов, обладающих повышенными триботехническими свойствами, как и их внедрение в производственную практику является актуальной задачей, соответствующей стратегическим целям государственной научно-технической политики.

Степень обоснованности научных положений и выводов

Диссертационная работа Р.С. Михеева представлена цельным, логичным исследованием. Автор убедительно показал возможность синтеза методами высокоэнергетической наплавки и модифицирующей обработки перспективных и востребованных в различных областях промышленности функционально-градиентных композиций с поверхностными слоями из сплавов на основе алюминия и олова. Анализ научно-технической и справочной литературы позволил автору систематизировать имеющуюся информацию и обосновать выбор перспективных составов и технологических процессов нанесения композиционных покрытий на основе цветных металлов. В диссертации приведены свойства разработанных составов КМ, описаны технологии получения наплавочных материалов и процессы формирования покрытий из них. Проведены исследования структуры, физико-механических свойств изготовленных функционально-градиентных слоистых композиций и их поведения в условиях трения и износа. Практическая ценность работы состоит в том, что в результате комплексных исследований рекомендованы составы наплавочного материала, режимы

нанесения покрытий и модифицирующей обработки поверхности, позволяющие получить требуемую структуру и свойства для заданных условий эксплуатации. Научные положения и заключение хорошо обоснованы, логично вытекают из материала диссертационной работы.

Достоверность результатов и выводов

Все научные положения диссертации и сделанные автором выводы подтверждаются корректностью планирования и выполнения теоретических, расчетных и экспериментальных методов исследований, логично опираются на достоверные результаты, полученные с применением стандартных, а также специализированных апробированных методик. Проведенные расчеты и экспериментальные исследования структуры и механических, упругих и триботехнических свойств представлены в большом количестве таблиц (66 таблиц) и проиллюстрированы кривыми на рисунках (206 рисунков).

Теоретические и расчетные положения согласуются с экспериментальными данными, в том числе с результатами других авторов, подтверждены успешной реализацией разработанных методик и технологий при производстве и опробовании изделий из функционально-градиентных слоистых композиций.

Научная новизна диссертационной работы Р.С. Михеева сформулирована следующими основными положениями:

1. Определены закономерности и предложены механизмы образования и роста интерметаллидов в контакте матричного расплава с материалом подложки или интерметаллидами системы Al-Fe в процессе нанесения композиционных покрытий на стальные основания;

2. Установлено влияние термического воздействия процесса дуговой наплавки на характеристики интерметаллидного слоя по границе раздела сталь-алюминий. Установлена критическая температура нагрева дискретного интерметаллидного слоя (803 К), превышение которой приводит к

снижению адгезионной прочности композиций;

3. Установлена возможность повышения износостойкости разработанных материалов в 1,5-2 раза за счет модифицирующей обработки поверхности электрическим дуговым разрядом в магнитном поле или лучом лазера.

4. Выявлены закономерности поведения новых функционально-градиентных слоистых композиций с покрытиями из КМ в условиях трения и износа.

Практическая значимость работы состоит в следующем:

1. Разработаны новые составы и технологии, а также изготовлено оборудование для получения наплавочных материалов в виде прутков и гранул из КМ на основе алюминия и олова, позволяющих формировать процессом наплавки функционально-градиентные слоистые композиции с повышенными триботехническими характеристиками (увеличение износостойкости до 10 раз, снижение коэффициента трения на 60% по сравнению с традиционными антифрикционными сплавами АО20-1 и Б83).

2. Установлена и обоснована взаимосвязь для разработанных наплавочных КМ и покрытий между составом матричного сплава, долей, размером и типом наполнителя, и их технологическими свойствами. В частности, для достижения требуемого качества покрытий на основе алюминия несимметричность поперечного сечения наплавленных на наклонную плоскость валиков должна превышать 1,65. Количество наполнителя минимального размера в наплавочных материалах не должно превышать 10 масс.%, а содержание кремния в матричном алюминиевом сплаве должно составлять 11-13 масс.%. Установлено, что для обеспечения сплошности изготовленных методом экструзии наплавочных материалов на основе олова доля наполнителя в них не должна превышать 5 масс.%. Субмикронные частицы меди, образующиеся в результате функционализации на поверхности углеродных нанотрубок, являются

дополнительными активными очагами взаимодействия и схватывания при изготовлении композиционных гранул.

3. Определены схемы и технологические режимы дуговой и плазменно-порошковой наплавки, обеспечивающие получение покрытий, обладающих композиционной структурой с заданной долей армирования и распределением наполнителя.

4. Установлены схемы и технологические режимы модифицирующей обработки КМ высококонцентрированными источниками энергии - дуговым разрядом в магнитном поле и лучом лазера, позволяющие повысить дисперсность матрицы в поверхностном слое в 5-10 раз, увеличить твердость на 20-40%, износостойкость в 1,5-2 раза.

5. Основные положения диссертационной работы применены при разработке и промышленной апробации технологий изготовления и ремонта изделий на ООО НПФ «УралМеталлГрафит», ООО «Аттестационный центр городского хозяйства», ООО «НПП КУРС», ООО «НефтеГазМонтаж», ООО «ПК. Борец» «Центр разработки нефтедобывающего оборудования» и ООО ТДВ «Евразия», что подтверждено соответствующими протоколами, актами и справками.

На основе полученных данных разработана следующая конструкторская документация: ТУ 1972-005-99051876-2013 «Прутки наплавочные алюмоматричные композиционные системы АК12-SiC»; ТУ 1972-010-99051876-2013 «Прутки наплавочные алюмоматричные композиционные системы АК12M2MgH-SiC»; ТУ 1972-015-99051876-2014 «Прутки наплавочные композиционные на основе сплава Б83».

Разработанные материалы и технологии защищены патентами РФ: №2361710 «Прутки из алюмоматричного композиционного материала для наплавки износостойких покрытий»; №2585588 «Композиционный материал на основе сплавов системы Sn-Sb-Cu и способ его получения».

Значимость полученных автором диссертации результатов для науки

Характеризация новых материалов, предлагаемая для изготовления изделий широкого диапазона областей применения, должна включать в себя полный комплекс решения научных и прикладных задач. К ним относятся: выбор составов наплавочных композиционных материалов триботехнического назначения на основе цветных металлов (состава матричного сплава, доли, размера и типа наполнителя); оценка влияния структурных факторов на физические, механические, триботехнические и технологические свойства; изучение процессов нанесения композиционных покрытий методами наплавки и модифицирующей обработки их поверхности в зависимости от применяемых схем и технологических параметров; исследование поведения новых функционально-градиентных слоистых композиций в условиях трения и износа. В связи с этим поставленная в работе цель и задачи полностью реализованы в научном и практическом плане.

Важным результатом является математическая модель процесса дуговой наплавки на сталь алюмоматричных КМ с частичным проплавлением промежуточного слоя, позволившая разработать метод определения минимальной толщины промежуточного алюминиевого слоя для сохранения нормативных значений адгезионной прочности функционально-градиентных слоистых сталеалюминиевых композиций.

Всесторонний комплекс исследований, проведенный Р.С. Михеевым в диссертационной работе, позволил провести оценку качества полученных материалов на высоком научном уровне, что подтверждается применением современного оборудования и методик исследования структуры, фазового состава, физических, механических, упругих и эксплуатационных характеристик. В работе были использованы оптические микроскопы Neophot, БИОМЕД MMP-2, Axiovert 200 (Carl Zeiss) и Leika DMILM; электронные микроскопы Helios NanoLab 660, TESCAN VEGA, Leo 430i и FEI Quanta 3D FEG; рентгеновский дифрактометр ДРОН-3М 3; разрывные машины Instron 3382, 2054 р-5; твердомер Wilson Wolpert 930N; микротвердомер WHV-CCD,

DuraScan 70; универсальные машины трения CERT UMT Multi-Specimen Test System и МТУ-01 (ТУ 4271-001-29034600-2004). Наплавочные материалы получены разными методами: по литейной технологии, экструзией и порошковой металлургией. Функционально-градиентные слоистые композиции получены с использованием дуговой, плазменно-порошковой наплавки и модифицирующей обработкой высококонцентрированными источниками энергии.

Значимость полученных автором диссертации результатов для производства

Диссертационная работа Михеева Р.С. имеет большое прикладное значение для производства. В работе получены важные и оригинальные результаты по созданию полного цикла изготовления функционально-градиентных слоистых композиций с повышенными триботехническими свойствами. Созданы новые наплавочные материалы на основе цветных металлов, методами дуговой и плазменно-порошковой наплавки получены покрытия на подложках из конструкционных сталей; выполнены комплексные исследования по модифицированию поверхности высококонцентрированными источниками энергии (электрическая дуга в магнитном поле и лазерное излучение). Создано оборудование и оснастка для производства наплавочных материалов в виде прутков из КМ на основе алюминия и олова, а также композиционных гранул из КМ на основе олова, обладающих необходимыми технологическими свойствами для реализации процессов дуговой и плазменно-порошковой наплавки в ручном или автоматическом режиме.

Достоинствами работы, определяющими ее практическое значение, являются рекомендации по технологии получения наплавочных материалов и методам синтеза функционально-градиентных слоистых композиций, предназначенных для изготовления элементов узлов трения скольжения, применяемых в той или иной области производства. Высокий уровень эксплуатационных характеристик (износостойкость, коэффициент трения и

стабильность процесса трения), достигнутых в работе, позволяют рекомендовать их в качестве замены традиционно применяемым в РФ дефицитным антифрикционным сплавам, например АО20-1 и Б83.

Опробация и внедрение результатов работы в производство подтверждается соответствующими актами. Например, экономическая эффективность от внедрения результатов работы для предприятия ООО НПФ «УралМеталлГрафит» составила 238 400 рублей.

Оценка содержания диссертации, завершенности, подтверждение публикаций автора

Рецензируемая диссертационная работа характеризуется внутренним единством и направленностью, объединена научной идеей и представляет собой законченное исследование на актуальную тему, имеющее научную и практическую значимость. Работа характеризуется большим объемом и отличается логичной структурой изложения. Все результаты, полученные в диссертационной работе, могут быть отнесены к кругу ранее нерешенных вопросов в исследовании проблемы создания функционально-градиентных слоистых композиций на основе алюминия, олова и их сплавов. Автореферат достаточно полно раскрывает содержание, отражает структуру диссертационной работы и соответствует основным положениям диссертации.

По материалам диссертационной работы опубликовано 78 печатных работ, в том числе: 1 монография, 31 статья в журналах, рекомендованных ВАК для опубликования результатов докторских диссертаций, 2 патента. Публикации полностью отражают основное содержание диссертации. Результаты работы доложены на 33 Международных и Российских конференциях.

По содержанию работы возникли следующие замечания и вопросы:

1. В тексте диссертации (например, на стр.15, 17, 24, 35 и т.д.) и автореферата (например, на стр. 9, 18 и т.д.) часто встречаются весьма

громоздкие и трудно читаемые предложения, которые занимают до 10 строчек.

2. Пункт 1 из раздела «Научная новизна» следовало бы перенести в раздел «Практическая ценность работы», т.к. в нем приведены достижения автора в части практической реализации разработанной технологии синтеза новых функционально-градиентных слоистых композиций процессами дуговой, плазменно-порошковой наплавки и модифицирующей обработки.

3. Пункт 4 из раздела «Практическая ценность работы» следовало бы перенести в раздел «Научная новизна», так как в нем представлен новый метод определения минимального значения толщины промежуточного алюминиевого слоя с помощью разработанной математической модели процесса дуговой наплавки, учитывающей теплофизические свойства промежуточного и диффузионного слоев.

4. Осталось не ясным, возможно ли применять разработанную математическую модель для определения температуры нагрева в любой точке образца при наплавке на сталь алюмокремниевое покрытие с частичным проплавлением промежуточного алюминиевого слоя при изменении параметров режима наплавки.

5. В диссертационной работе большое внимание уделено изучению фазового состава разработанных КМ и покрытий, в том числе содержащих интерметаллидные фазы в системе Fe-Al-Si. В связи с этим представляет интерес соотнести полученные экспериментальные данные с соответствующими структурно-фазовыми диаграммами.

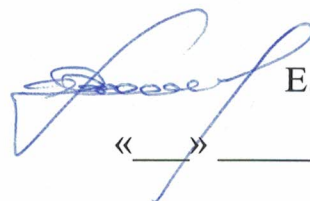
6. В работе предложены и рассмотрены механизмы образования интерметаллидного слоя для трех схем контакта наплавляемого алюминиевого сплава с поверхностью стали. Однако не описан механизм образования интерметаллидов при частичном проплавлении алюминиевого промежуточного слоя, полученного сваркой взрывом.

7. Из текста диссертации и автореферата не ясно, проводилась ли модифицирующая обработка поверхности изотропных КМ на основе олова.

Однако, несмотря на указанные замечания, диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне, соответствует поставленным цели и задачам, а замечания не снижают общего хорошего впечатления.

Работа по своему научному и техническому уровню соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемых к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор, Михеев Роман Сергеевич, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 05.16.06 – «Порошковая металлургия и композиционные материалы».

Заведующий кафедрой порошковой металлургии
и функциональных покрытий,
директор Научно-учебного центра СВС,
доктор технических наук, профессор

 Е.А. Левашов
«___» _____ 2018 г.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»», 119049, Москва, Ленинский проспект, д. 4

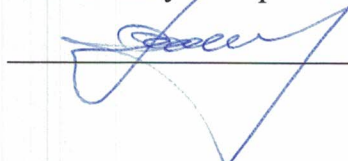
Левашов Евгений Александрович

Телефон: +7 (495) 638-45-00; +7 (499) 236-52-98, e-mail: levashov@shs.misis.ru

Заведующий кафедрой ПмиФП, директор НУЦ СВС,

Специальность 01.04.17 и 05.16.06

Я, нижеподписавшийся, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертационной работы Михеева Романа Сергеевича, и их дальнейшую обработку.

 Е.А. Левашов

ПОДПИСЬ  ЗАВЕРЯЮ
Протокол заседания диссертационного совета
Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»»
«___» _____ 2018 г.
В.Л. Петров

