

# О Т З Ы В

## Официального оппонента

на диссертационную работу Михеева Романа Сергеевича

«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 металлургии и композиционные материалы»

История подшипников скольжения столь же длинна, как и история колеса. По мере развития цивилизации создавалась новая техника, и область применения подшипников скольжения постоянно расширялась. Надежность и работоспособность машин и механизмов, работающих в разных отраслях промышленности, в значительной степени определяется безотказным функционированием узлов трения, характеристики которых зависят преимущественно от применяемых антифрикционных материалов. К середине 20-го века, в результате нескольких промышленных революций, были разработаны целые классы антифрикционных материалов - сплавов на основе алюминия, меди, олова или свинца. Уровень их служебных характеристик к настоящему времени достиг максимума, а потенциал их дальнейшего совершенствования за счет классического легирования или специальной обработки себя практически исчерпал. Эти материалы уже не могут удовлетворять требованиям бурно развивающегося современного машиностроения, особенно это относится к транспортной, станкостроительной технике, энергетике, авиакосмической технике. Эти отрасли машиностроения в значительной степени определяют уровень конкурентоспособности страны, ее национальной безопасности.

Одним из наиболее перспективных и эффективных способов улучшения эксплуатационных свойств антифрикционных материалов является создание

принципиально новых композиционных материалов на основе цветных металлов.

Диссертационная работа Романа Сергеевича Михеева посвящена решению именно такой задачи. Она включает разработку новых составов антифрикционных композиционных материалов (КМ), разработку оборудования и технологии получения наплавочных материалов из них, а также технологии синтеза на подложках из низкоуглеродистой стали и сплавов алюминия покрытий из этих КМ. В совокупности это представляет собой разработку комплексной промышленной технологии изготовления элементов узлов трения из новых антифрикционных материалов с улучшенными эксплуатационными характеристиками.

По своему содержанию она находится на современном научном и техническом уровне, и, в связи с вышеизложенным, является в высокой степени актуальной.

Содержание диссертации изложено на 442 страницах, включая основные выводы, список литературы (347 наименований), и приложения – 16 стр. Материалы диссертации опубликованы в 78 работах, включая 1 монографию, 2 патента на изобретения, 31 статью в журналах, рекомендованных ВАК РФ, доложены на 33 конференциях, семинарах, симпозиумах и форумах. Структурно диссертация содержит Введение, 6 глав, Основные выводы, Список литературы и Приложения.

Во **Введении** представлены основные структурные элементы диссертации, включая цель и задачи работы, научную новизну полученных результатов, практическую ценность, достоверность результатов и их апробацию.

**Глава 1** посвящена анализу современных КМ триботехнического назначения, основных существующих технологий формирования структуры и свойств покрытий из них и достигаемых при этом преимуществ. На основе анализа опыта получения и применения таких КМ в трибосопряжениях сформулирована цель, задачи и направления

исследования. Выполненный аналитический обзор охватывает период 1950 – 2017г, подтверждает высокую научную квалификацию и широкую эрудицию диссертанта, умение критически анализировать литературный материал.

В **Главе 2** представлены использованные в работе исходные материалы для изготовления антифрикционных КМ, также методы исследований – химического и фазового состава, структуры, методы определения физико-механических, упругих и триботехнических характеристик. Приведены сведения об обеспечении для математического моделирования процесса дуговой наплавки. В качестве матричных материалов использовались литейные и деформируемые сплавы алюминия а также классические антифрикционные сплавы. Армирующими элементами были частицы карбиды титана и кремния, оксида алюминия, вводимшиеся непосредственно в расплав. Помимо этого использовалось введение в расплав порошков титана с целью формирования частиц алюминидов титана – дополнительной упрочняющей фазы. Для управления структурой антифрикционных слоев использовали модифицирующие частицы карбида бора, углеродные нанотрубки. Все использованные методы исследования отвечают современному уровню.

**Глава 3** посвящена собственно разработке антифрикционных наплавочных материалов. По объему это самая большая глава диссертации- 103 страницы. По содержанию она является основополагающей для всей работы в целом, так как содержит практически всю ее материаловедческую часть. При разработке составов композиционных сплавов триботехнического назначения автор руководствовался в первую очередь повышением их функциональных свойств: снижением коэффициента трения, повышением износостойкости. Однако не меньшее внимание было уделено также и технологичности создаваемых материалов – возможности их использования в качестве наплавочных материалов при изготовлении триботехнических деталей.

Автором выполнен огромный объем работ по исследованию структуры, механических, функциональных и технологических свойств образцов композиционных материалов на основе матриц из чистого алюминия, литейных сплавов системы алюминий-кремний, специального антифрикционного сплава системы олово-алюминий и двух антифрикционных сплавов на основе олова. В качестве упрочняющих наполнителей использованы армирующие частицы из карбидов титана и кремния, модифицирующие добавки разной природы, морфологии и размера.

На основе полученных результатов разработаны составы сплавов обладающие высокими триботехническими и технологическими свойствами, разработаны технологии и изготовлено оборудование для производства стандартных наплавочных материалов в виде прутков и гранул из этих новых композиционных материалов. Полученные результаты защищены двумя патентами на изобретения. На разработанные наплавочные материалы оформлены комплекты технологической и конструкторской документации, позволяющие наладить их промышленный выпуск.

**Глава 4** посвящена разработке технологических процессов получения покрытий из КМ с применением изготовленных новых наплавочных материалов. Для этого автором диссертации были установлены новые схемы и определены технологические параметры режимов дуговой и плазменно-порошковой наплавки, обеспечивающие получение покрытий с композиционной структурой, заданной долей армирования и распределением наполнителя.

Особый интерес представляют результаты разработки технологии нанесения на сталь покрытий из КМ на основе алюминия. В таких слоистых сталепалладиевых композициях важное значение приобретает обеспечение высоких значений адгезионной прочности, вследствие высокой вероятности образования в диффузионной зоне хрупкого интерметаллидного слоя системы Fe-Al. Эту задачу диссертант решает используя введение между стальной подложкой промежуточных слоев из цинка и алюминия. Показано,

что тип и способ получения промежуточного слоя определяет структуру диффузионной зоны при формировании на стальной подложке алюмоматричных КМ покрытий. Автором предложены механизмы образования и роста интерметаллидов при контакте матричного расплава с материалом подложки или интерметаллидами системы Fe-Al и доказано влияние не только толщины, но и характера интерметаллидного слоя на адгезионную прочность полученных на стальном основании композиционных покрытий на основе алюминия. Разработан расчетный метод определения минимального значения толщины промежуточного алюминиевого слоя, обеспечивающего отсутствие падения адгезионной прочности в процессе наплавки.

Представляют интерес также результаты моделирования взаимодействия графеновых поверхностей с расплавом и эксперименты по наплавке композитных покрытий содержащих углеродные нанотрубки на поверхность антифрикционного сплава на основе олова.

В главе 5 приведены результаты сравнительных испытаний на трение и износ наплавляемых композиционных сплавов и из них. Показано, что присутствие в составе сформированных рабочих композиционных покрытий на основе алюминия и олова функционально-градиентных слоистых композиций тугоплавких наполнителей микронного и субмикронного размера, в том числе углеродных структур, позволяет значительно улучшить уровень триботехнических характеристик (увеличить износостойкость на порядок, снизить коэффициент трения на 60%) по сравнению с традиционными антифрикционными сплавами АО20-1 и Б83.

Глава 6 посвящена исследованию возможности модифицирования структуры и повышения триботехнических свойств поверхностных слоев разработанных материалов методам обработки высоко концентрированными потоками энергии: сфокусированной в магнитном поле электрической дугой, и лучом лазера. Это перспективное направление в создании новых функционально-градиентных слоистых композиций. Определены составы

литых КМ и покрытий из них, пригодные для модифицирования, схемы и технологические режимы обработки. Показано, что за счет локального теплового воздействия на материал, регулирования скоростей нагрева и обеспечения высоких скоростей охлаждения в результате теплоотвода во внутренние слои образца, возможно повысить твердость поверхностных слоев на 40% , а износостойкость в 2 раза. Эти данные открывают новые возможности по созданию высокоэффективных градиентных слоистых композиций триботехнического назначения.

Таким образом, все поставленные в диссертационной работе задачи успешно решены. Разработаны и опробованы в промышленных условиях новые антифрикционные материалы, и технологии получения покрытий из них.

Все перечисленные выше результаты являются новыми, как и научные и технологические подходы к их получению.

Достоверность и обоснованность каждого научного положения, выводов и рекомендаций соискателя подтверждаются полученными диссертантом экспериментальными данными, и их реализацией в конкретных опытных партиях получаемых материалов и изделий из них, результатами испытаний изделий.

Результаты, полученные соискателем и представленные в диссертации, сделанные выводы и рекомендации имеют высокую научную и практическую значимость. Они открывают новые технологические направления в создании функционально-градиентных слоистых композиций с повышенными триботехническими свойствами для узлов трения, работающих в различных отраслях промышленности.

Результаты диссертации полностью опубликованы в 1 монографии, 2 патентах, 31 статье в журналах из перечня ВАК, 9 статьях в изданиях, индексируемых в SCOPUS, 33 докладах на отечественных и международных конференциях, семинарах, симпозиумах и форумах. Автореферат диссертации соответствует содержанию диссертации.

## **Замечания по диссертационной работе Р.С. Михеева**

Есть несколько замечаний по оформлению диссертации. Очень неудачно представлены составы матричных сплавов (с.97, 98), а при чтении диссертации к ним приходится часто обращаться. Есть жаргонные выражения; «функционализирующая медью поверхность» (с.104); «система SnSb» с.195); « код армирования» (с.234); «эвтектический уровень» (с.237). Встречаются чрезмерно категоричные утверждения «раскрыты закономерности» (с.321), «раскрыто влияние» (с.323). На некоторых графиках присутствуют точки  $-*$ , смысл которых из подрисуночных подписей непонятен (с.158, 159, 160). Присутствует некорректная ссылка на формулу Эйнштейна (с.181) – вместо ссылки на оригинал, дается ссылка на работу, в которой она используется. Встречаются характеристики структуры, смысл и значение которых непонятен – «дендритный параметр» (с 364).

Есть замечание по изложению материала диссертации. В диссертации не приведено ни одной диаграммы состояния, даже для двухкомпонентных систем. Если бы диссертант приводил их в тексте при обсуждении полученных результатов структурных исследований, они звучали-бы еще более весомо.

Сделанные замечания не снижают высокой оценки диссертационной работы.

Диссертационная работа Романа Сергеевича Михеева посвящена разработки новых научно обоснованных технологических, технических и конструкторских решений, направленных на создание новых функционально-градиентных слоистых композиций и перспективных покрытий из КМ на основе цветных сплавов, обладающих повышенными триботехническими свойствами, для узлов трения машин и механизмов, технологий их производства и создания изделий из них. Она вносит существенный вклад в экономическое развитие страны.

Диссертационная работа Р.С. Михеева «Перспективные покрытия с повышенными триботехническими свойствами из композиционных

материалов на основе цветных металлов» соответствует критериям, установленным Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 №842 «О порядке присуждения ученых степеней» к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических 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».

Официальный оппонент:

Карпов Михаил Иванович

Доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН

Главный научный сотрудник

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики твердого тела Российской академии наук

142432 Московская обл., Ногинский р-н, г. Черноголовка, ул. Академика Осипьяна, д.2

Телефон 4965222061

e-mail [karpov@issp.ac.ru](mailto:karpov@issp.ac.ru)

Михаил Иванович Карпов

Подпись Карпова Михаила Ивановича удостоверяю

Ученый секретарь ИФТТРАН

Д. ф.-м. н.



Г. Е. Абросимова