

официального оппонента, доктора технических наук, профессора  
Сыркова Андрея Гордиановича на диссертацию Маркова Михаила Александровича  
«Функциональные керамические покрытия, полученные с применением метода  
микродугового оксидирования», представленной к защите на соискание ученой  
степени доктора технических наук по специальности

#### 2.6.14. Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов

##### **Актуальность избранной темы диссертации**

Свойства поверхности определяют область использования изделия в целом, его устойчивость к внешнему механическому или химическому воздействию. Для восстановления и упрочнения поверхности металлических деталей, работающих в узлах трения машин и механизмов, одним из наиболее эффективных является активно развивающийся метод микродугового оксидирования (МДО). Так, при использовании данного метода, износостойкость деталей сельскохозяйственного оборудования, выполненных из алюминиевых сплавов, можно повысить, по данным экспертов в 2-5 раз.

Развитие методов восстановления и упрочнения изношенных металлических изделий, в том числе из стали, на сегодняшний день является особенно важным, так как происходит:

- существенный рост стоимости машиностроительной техники и оригинальных деталей иностранного производства;
- сокращение поставок оборудования из других стран;
- переход к новым технологиям, вследствие чего растут нагрузки на применяемые материалы и конструкции.

В своем актуальном по тематике диссертационном исследовании Марков М.А. использует новые перспективные подходы, разработанные соискателем, к формированию композиционных МДО-покрытий через промежуточный (прекурсорный) алюминиевый слой, армированный тугоплавкими частицами керамики. В работе показано, что керамический модифицирующий компонент, введенный через подложку и равномерно распределенный по оксидируемой поверхности, может быть сохранен в структуре в условиях действия микроплазменных разрядов. Анализ полученных результатов открывает инновационные возможности для создания композиционных керамических покрытий

с повышенной прочностью при использовании метода МДО, что также подтверждает актуальность проведенного исследования. Следует отметить, что в доступной научной литературе модифицирование МДО-покрытий осуществляют принципиально другим способом, через осаждение функциональных компонентов во взвешенном состоянии из раствора электролита. При этом наблюдается преимущественно мозаичный, «островковый» тип распределения модификаторов.

Для формирования прекурсорного слоя на основе алюминия, автор весьма разумно использует метод «холодного» газодинамического напыления (ХГДН), обладающего следующими преимуществами для восстановления поверхности:

- возможность «точечного» нанесения покрытий на определенные зоны поверхности;
- возможность наращивания покрытия с низкой пористостью заданной толщины от 50 мкм до нескольких мм;
- отсутствие фазовых превращений в процессе формирования покрытия.

На основании поставленных в диссертации задач, используемых методов исследований и полученных результатов, считаю тему диссертационной работы Маркова М.А. обоснованной, своевременной и актуальной.

Разработанные покрытия могут быть использованы в различных областях машиностроения для восстановления, наращивания и упрочнения поверхности металлических изделий. Разработанные методики диагностики керамических покрытий могут быть применимы в научной и промышленной отрасли для относительной экспресс-оценки пары трения на уровне «лучше/хуже».

### **Новизна научных положений, выводов и рекомендаций**

Научная новизна диссертационного исследования, выводов, рекомендаций и выносимых на защиту положений, заключается в следующем:

- определены пути управления процессом МДО в боратных и силикатно-щелочных электролитах для осуществления синтеза керамических покрытий с заданными функциональными характеристиками (толщина, пористость, твердость, фазовый состав, износостойкость, коррозионные свойства);
- впервые предложено использовать ХГДН-покрытия, модифицированные частицами оксида алюминия и карбида кремния, в качестве прекурсора для МДО. Научно обоснована перспективная технология износостойких и коррозионностойких

керамических покрытий на металлах с комплексным использованием методов микродугового оксидирования и сверхзвукового гетерофазного переноса. Разработанные покрытия обладают функционально-градиентными свойствами за счет управляемого изменения фазового состава по толщине;

– изучены и экспериментально апробированы новые перспективные способы введения функциональных компонентов в поры МДО-покрытий;

– разработаны новые экспресс-методы диагностики тонкослойных керамических покрытий.

Диссертация содержит новые данные и решения, представляющие научный и практический интерес. Совокупность оригинальных экспериментальных данных, полученных в диссертационной работе, способствует развитию научных представлений о механизме процессов получения, структуре и свойствах композиционных керамических покрытий с улучшенными характеристиками.

**Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций** подтверждается следующим

Для решения поставленных задач были использованы современное высокотехнологичное оборудование и корректные методики:

– для исследования структурных характеристик покрытий и материалов использован электронный микроскоп с EBSD-детектором, а также применены методы рентгенофазовых и рентгеноструктурных исследований с использованием баз данных PDF-4;

– для исследования эксплуатационных характеристик покрытий и материалов проведены длительные, технологически сложные, но крайне информативные коррозионные испытания в условиях морского климата, а также в среде жидкометаллического теплоносителя.

В работе Маркова М.А. выполнены исследования по авторским методикам, защищенным патентами РФ и внедренным на 4-х предприятиях. Методики опубликованы в рецензируемых научных изданиях, обсуждены и одобрены на профильных научно-технических конференциях, что подтверждает обоснованность и достоверность их использования.

В целом, по результатам исследования опубликована 61 научная работа, в том числе 42 статьи в журналах, включенных в перечень ВАК, из них 37 статей в

журналах, индексируемых в международных базах данных (Scopus, WoS, Springer, Chemical Abstracts), 9 патентов РФ на изобретения, 10 тезисов докладов международных и всероссийских конференций.

### **Теоретическая и практическая значимость выводов и рекомендаций диссертации**

Диссертационное исследование М.А. Маркова по синтезу функционально-градиентных керамических покрытий имеет очевидную научно-практическую значимость. В частности, реализованные результаты работы позволяют производственным предприятиям использовать отечественные разработки по упрочнению и восстановлению металлических изделий машиностроения, сельскохозяйственной техники. На сегодняшний день, согласно Актам об использовании в приложении диссертации, заинтересованность в разработке существует у ряда отечественных предприятий, таких как ООО «Невский инструментальный завод», ООО НПП «Металлокерамические композиционные материалы». Практическая значимость и новизна выводов и рекомендаций подтверждается также патентами РФ на ряд разработанных технологий.

Научные результаты, полученные М.А. Марковым по диагностике керамических покрытий, используются в научно-образовательной деятельности СПбГТИ (ТУ), ИМАШ РАН, МГТУ им. Н. Э. Баумана (см. соответствующие Акты на стр. 298, 299 диссертации).

Теоретическая значимость работы:

- методами термодинамического моделирования взаимодействия электролита с алюминиевой подложкой определена роль компонентов водного боратного электролита и установлена зависимость влияния параметров состояния (состава и температуры) на возможные физико-химические превращения, что позволило найти параметры для улучшения режимов технологии микродугового оксидирования.

- предложен расчетный способ оценки величины внутренних напряжений, возникающих в функциональных покрытиях на деталях машин, в условиях эксплуатации в высокотемпературной среде и метод расчета температуры на адгезионной границе покрытие – металлическая основа и возможности регулирования допустимых механических напряжений в покрытии в зависимости от его толщины и температуры эксплуатации.

## **Замечания по диссертации и автореферату**

1. В Заключение работы не удастся в явном виде обнаружить обобщающий вывод, который объединял бы воедино идейно и логически название, цель диссертации, ее результаты и отдельные части. Имеющиеся выводы отражают весьма серьезные и конкретные научно-технические достижения, которые связаны темой МДО. В тексте диссертации говорится о получении данных по «взаимосвязи «состав–структура–свойство» и «технология–состав–структура–свойство» покрытий (см. стр. 7). Но разве свойство влияет на состав или определяет последний? Тут корректнее, на наш взгляд, констатировать наличие связи, а не взаимосвязи.

2. В описании метода оценки износостойкости керамических покрытий автор пользуется неточным, качественным критерием: «Для того, чтобы воспользоваться предложенным подходом, необходимо иметь не очень гладкую исходную поверхность, иначе исходное значение  $R_a$  будет очень мало и первый слой сотрется очень быстро». В тексте же соответствующего патентного описания автор приводит более точные и корректные данные о допустимом диапазоне шероховатости для реализации метода.

3. Было бы интересным и информативным систематически применить метод элементного картирования для определения структуры функционально-градиентных покрытий с промежуточным интерметаллидным слоем по всей толщине. Данный метод применяется автором лишь эпизодически.

4. В разделе 3.3 диссертации было бы целесообразно провести сравнение работоспособности боратного электролита по сравнению с силикатно-щелочным и фосфатно-силикатно-щелочным, для более наглядного представления о преимуществах или недостатках разработки автора.

5. Есть замечания по оформлению работы. В частности, некоторые рентгенограммы плохо читаются и нуждаются в масштабировании. Не все ссылки оформлены в списке литературы строго по ГОСТу (см. ссылки под номерами 3, 26, 56, 101).

Представленные замечания не затрагивают сколько-нибудь существенным образом надежность и обоснованность выводов работы, носят зачастую дискуссионный характер или характер пожеланий.

## Заключение

Диссертация Маркова М.А является завершённой научно-квалификационной работой на актуальную тему, содержит новизну и практическую ценность. Работа по содержанию, методологии и объектам соответствует специальности 2.6.14. В диссертации изложены научно обоснованные технические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие технологии керамических материалов и машиностроительной отрасли страны. Таким образом, диссертация соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (постановление Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, ред. От 01.10.2018), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор, Марков Михаил Александрович, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.14. Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов.

Официальный оппонент  
профессор кафедры общей и технической  
физики, руководитель Центра нанотехнологий  
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный  
университет»,  
доктор технических наук по специальности  
02.00.18 – Химия и физика поверхности

Сырков Андрей  
Гордианович

Почтовый адрес: 199106, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия д.2, СПбГУ

Тел. моб.: +7-921-921-10-04

E-mail: Syrkov AG@pers.spmi.ru



А. Т. Спрингов

Заместителя начальника отдела  
производства \_\_\_\_\_ Е.В. Копьева

« 06 » 10 20 22 г.

с отрывом от первоначального отношения означенных.

ИД - М. Д. Мамнов

10.10.2022 2