

ОТЗЫВ

официального оппонента **Фроловой Марианны Геннадьевны**
на диссертационную работу **Быковой Алины Дмитриевны** на тему:
«Увеличение износостойкости поверхностей трения за счет синтеза
керамических покрытий на металлах методом микродугового
оксидирования», представленную на соискание ученой степени кандидата
технических наук по специальности 2.6.14. Технология силикатных и
тугоплавких неметаллических материалов

Результаты диссертационной работы А.Д. Быковой представляют собой практическое обоснование новых научно-технических решений для упрочнения и восстановления металлических изделий машиностроения, работающих в узлах трения, за счет формирования керамических покрытий, что создает потенциал для повышения эффективности ремонтного производства в целом.

Актуальность диссертационной работы заключается в обосновании влияния технологий и структурных параметров керамических покрытий, сформированных с применением метода микродугового оксидирования, на износостойкость при контактном взаимодействии со сплавным контртелом. Следует отметить, что в доступной научной литературе недостаточно данных, позволяющих достоверно анализировать и оценивать трибологические свойства покрытий такого рода в узлах трения.

Научная новизна исследований диссертационной работы Быковой А.Д. заключается в том, что:

1. Приведены новые результаты по влиянию отдельных компонентов электролитов на трибологические характеристики керамических покрытий, сформированных микродуговым оксидированием алюминия и его сплавов на импульсном токовом режиме.

2. Обоснованы структурные преимущества керамических покрытий, сформированных микродуговым оксидированием в боратном электролите, что

позволяет увеличить износостойкость пары трения «алюминиевый сплав – сталь» в 3,1 раза на экспериментальных образцах.

3. Приведены новые результаты по увеличению износостойкости пары трения «алюминиевый сплав – сталь» в 3,4 - 3,8 раз на экспериментальных образцах за счет создания керамических покрытий и функциональных прекурсорных слоев, обладающих градиентом по химическому составу, с использованием метода микродугового оксидирования и технологии низкотемпературного гетерофазного переноса.

4. Приведены новые результаты по повышению антифрикционных свойств керамических покрытий, сформированных методом микродугового оксидирования алюминия и его сплавов.

Отдельно следует выделить результат по п.1, как наиболее интересный с точки зрения объяснения влияния типа и содержания пассиватора в водном электролите на процесс фазообразования слоев керамических покрытий, в условиях прохождения искровых разрядов при микродуговом оксидировании алюминия и его сплавов.

Теоретическая и практическая значимость работы

Практически обосновано влияние структурных характеристик керамических покрытий, сформированных методом микродугового оксидирования алюминия и его сплавов в водных электролитах с различным типом и содержанием пассиватора, на их трибологические свойства в паре трения со стальным контртелом. Определены способы повышения антифрикционных свойств формируемых керамических покрытий и обоснованы параметры, влияющие на маслосъемкость.

Обосновано влияние способов синтеза прекурсорных слоев на износостойкость керамических покрытий, сформированных технологией микродугового оксидирования алюминия и его сплавов. Расчетными методами представлена оценка однородности распределения упрочняющих компонентов в керамических покрытиях.

Следует выделить патентные решения Быковой А.Д. в рамках реализации диссертационного исследования:

1. Патент № 2714015 С1 Российская Федерация, МПК C25D 11/08. Способ получения покрытий: № 2019101099: заявл. 11.01.2019: опубл. 11.02.2020 / И. В. Улин, А. В. Красиков, М. А. Марков, А. Д. Быкова. – 5 с.

2. Патент № 2713763 С1 Российская Федерация, МПК C25D 11/02, C25D 15/00. Способ получения беспористого композиционного покрытия: № 2019120716: заявл. 01.07.2019: опубл. 07.02.2020 / А. С. Орыщенко, М. А. Марков, А. В. Красиков, А. Д. Быкова, А. Н. Беляков. – 6 с.

3. Патент № 2678045 С1 Российская Федерация, МПК C23C 28/02. Способ получения керамоматричного покрытия на стали, работающего в высокотемпературных агрессивных средах: № 2018100983: заявл. 10.01.2018: опубл. 22.01.2019 / А. С. Орыщенко, М. А. Марков, А. В. Красиков, И. В. Улин, Д. А. Геращенко, П. А. Кузнецов, А. Ф. Васильев, А. Д. Быкова. – 9 с.

Достоверность научных положений, выводов и результатов, сформулированных в диссертации А.Д. Быковой, подтверждена использованием высокоточных современных химических и физико-химических методов исследований, проведенных с использованием аттестованного высокотехнологического оборудования, а также сходимостью экспериментальных результатов, обсуждением основных положений работы на российских и международных научных конференциях и их публикацией в научно-технических журналах, рекомендованных ВАК.

В частности, по результатам диссертационной работы опубликована 21 научная работа, из них 18 статей в журналах, включенных в перечень ВАК, 16 статей в журналах, индексируемых в международных базах данных (Scopus, Web of Science и др.). Также получено 3 патента РФ на изобретение, представлено 17 тезисов докладов на международных и всероссийских конференциях.

Структура и объём диссертации

На отзыв для оппонирования представлена диссертация, состоящая из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка из 198 источников и 3 приложений. Общий объем диссертации составляет 165 страниц, содержит 61 рисунок и 10 таблиц.

Во **введении** можно ознакомиться с целью и задачами работы, а также с положениями, выносимыми на защиту. Формулируется научная новизна, практическая и теоретическая значимость диссертационного исследования, излагается актуальность работы в целом.

В **первой главе** представлен подробный аналитический обзор, раскрывающий проблематику диссертационного исследования. По результатам аналитического обзора приводятся краткие обобщающие выводы.

Диссертант справедливо отмечает, что микродуговое оксидирование является недостаточно изученным и перспективным методом для защиты металлических изделий от износа и коррозии. Существуют новые научно-технические подходы к увеличению трибологических характеристик покрытий такого рода за счет создания прекурсорных слоев (многослойных покрытий), регулирования химических составов электролитов и токовых режимов процесса, что требует проведения комплексных исследований и дальнейшего развития представленного направления. Следует отметить, что проведенный научно-технический анализ позволил сформулировать цель и основные задачи настоящего исследования.

Во **второй главе** представлена краткая схема синтеза слоев формируемых покрытий, приведена информация по применяемым технологическим подходам, характеристике порошков и материалов, описаны методики анализа образцов покрытий.

В **третьей главе** приводятся результаты по исследованию влияния составов электролитов с различным типом и содержанием пассиватора на структуру и трибологические свойства керамических покрытий, полученных с применением метода микродугового оксидирования алюминия и его сплавов. Выделяются преимущества керамических покрытий на корундовой

основе для увеличения износостойкости пар трения «алюминиевый сплав – сталь». Определяется зависимость изменения микротвердости керамических покрытий и их маслостойкости на примере использования силикатно-щелочного электролита. Описываются результаты экспериментов по введению твердосмазочных компонентов в поверхностный пористый слой формируемых керамических покрытий, что приводит к повышению их антифрикционных свойств в паре трения со стальным материалом за счет существенного уменьшения коэффициента трения.

В **четвертой главе** диссертантом обосновываются и описываются новые перспективные способы увеличения износостойкости керамических покрытий, сформированных на основе метода микродугового оксидирования, за счет создания прекурсорных функциональных слоев на металлической поверхности. Отдельно в данной части работы следует выделить применение трудоемкого и весьма информативного метода исследования – высокотемпературного рентгена, для объяснения процессов фазообразования интерметаллидных прекурсорных слоев, обеспечивающих повышение прочностных характеристик создаваемых покрытий.

Приводятся результаты по исследованию способа создания прекурсорных слоев за счет применения следующих комплексных подходов:

- «холодное» газодинамическое напыление композиционных порошков, термическая обработка, микродуговое оксидирование;

- «холодное» газодинамическое напыление армированных композиционных порошков с различным содержанием упрочняющего модификатора, микродуговое оксидирование.

Приводится оценка результатов трибологических испытаний керамических покрытий в паре трения со стальным материалом.

В **заключении** в обобщенном виде изложены результаты работы.

Аннотация полностью отражает содержание диссертации, результаты проведенных исследований, выводы и публикации автора по теме диссертации.

Таким образом, все научные положения и выводы, сформулированные в диссертации, научно обоснованы, достоверность и новизна полученных результатов не вызывает сомнений, результаты прошли апробацию в виде публикаций в рецензируемых журналах и докладах на научных конференциях.

Сформулированы следующие вопросы и замечания:

1. Было бы интересно рассмотреть в качестве прекурсорных слоев для микродуговой обработки аспекты формирования композиционных покрытий, включающих тугоплавкие бориды и силициды металлов.

2. Остается до конца не ясным, почему в работе для всех типов покрытий использован такой необычный метод сравнительной оценки, как кратность повышения износостойкости.

3. В работе отмечается, что наилучшими показателями износостойкости обладают покрытия, сформированные с применением боратного электролита. Тем не менее, также указывается, что в данном электролите невозможно сформировать покрытия в широких пределах толщин. В связи с данным обстоятельством интересно узнать, какие факторы ограничивают рост толщины покрытий, и существуют ли способы регулирования данного параметра.

4. В рамках реализации способа синтеза керамического покрытия с прекурсорным интерметаллидным слоем диссертант проводит термообработку при температуре порядка 700 °С. При этом не приводится информация о возможном изменении химического состава металлической или сплавной подложки.

5. Автор качественно описывает адгезию материала, однако, в работе не приведены исследования по данному показателю.

6. На рисунке 4.22 (а, в) не везде указан политип идентифицируемых фаз. Также, не приведены номера карточек баз данных, по которым проводилась расшифровка.

7. Из текста диссертационной работы не ясно, влияет ли толщина керамического покрытия на прочностные и трибологические характеристики материала.

Отмечу, что представленные вопросы и замечания не влияют на общую положительную оценку работы.

Общая оценка содержания диссертации

Диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне, с использованием достаточно большого набора методов физико-химического анализа, результаты работы изложены последовательно, сопровождаются понятным иллюстративным материалом. Поставленные в работе цель и задачи выполнены.

Диссертационная работа А.Д. Быковой на тему: «Увеличение износостойкости поверхностей трения за счет синтеза керамических покрытий на металлах методом микродугового оксидирования» соответствует паспорту специальности 2.6.14. Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов в п.1, 2, 4 направлений исследований.

Заключение

Диссертационная работа Быковой Алины Дмитриевны на тему: «Увеличение износостойкости поверхностей трения за счет синтеза керамических покрытий на металлах методом микродугового оксидирования» отвечает требованиям п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней» (утверждено постановление Правительства РФ от 24.09.2013 №842 в последней редакции), выдвигаемым к работам, представляемым на соискание ученой степени кандидата технических наук.

В соответствие с п. 9 диссертационная работа Быковой Алины Дмитриевны является научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические, технологические решения, имеющие существенное значение для развития страны, в частности в ней содержится решение научной задачи, имеющей значение в рамках развития технологии керамических покрытий для упрочнения и

восстановления изделий машиностроительной отрасли Российской Федерации.

Таким образом, диссертационная работа, представленная к защите Быковой Алиной Дмитриевной, имеет новизну и практическую значимость в части отдельных результатов исследования, а её автор заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.14. Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов.

Официальный оппонент  Марианна Геннадьевна Фролова

Фролова Марианна Геннадьевна

Кандидат технических наук (специальность 05.17.11 - Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов)

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук

Научный сотрудник, лаборатория физико-химического анализа керамических материалов

Адрес: 119334, г. Москва, Ленинский проспект, д. 49

Тел: +7 (967) 068-50-60

e-mail: frolovamarianna@bk.ru

Подпись Фроловой Марианны Геннадьевной заверяю:

Ученый секретарь ИМЕТ РАН, к.т.н.



Ольга Николаевна
Фомина