

ОТЗЫВ

Официального оппонента **Толочко Олега Викторовича**
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

На отзыв представлена диссертация объемом 165 страниц
машинописного текста, содержащая 61 рисунок, 10 таблиц, список литературы
из 198 наименований, а также автореферат.

Актуальность работы

Снижение трения и износа деталей машин - ключевой фактор для
экономии ресурсов, повышения эффективности производства, продления
срока службы оборудования и уменьшения риска аварий. Борьба с износом
через регулярное техническое обслуживание, применение новых
износостойких материалов и разработку передовых технологий становится
важным аспектом в повышении эффективности промышленных предприятий.
В частности, в настоящее время для управления трением и износом все чаще
применяются обработка трущихся поверхностей или использование
специальных покрытий. Существующие технологии нанесения защитных
покрытий зачастую являются достаточно сложными, дорогими и
трудоемкими, либо же имеют существенные недостатки (например, высокую
токсичность), а также при растущих требованиях к твердости и
износостойкости они не всегда могут обеспечить нужный уровень свойств.
Весьма перспективной является технология микродугового оксидирования
(МДО), которая является достаточно простой и экологически безопасной и
позволяет формировать очень износостойкие керамические покрытия с
высокими механическими свойствами на изделиях сложной формы. Несмотря
на очевидные преимущества технологии МДО требуется дальнейшее
проведение исследований для ее развития в следующих аспектах:
дополнительное улучшение триботехнических свойств покрытий; расширение
материальной области применения (адаптация технологии для различных
материалов и сплавов); интеграция с другими технологиями (комбинирование
технологии МДО с другими технологиями для создания более комплексных и
эффективных подходов к упрочнению поверхности). Эти задачи решаются в
исследовании Быковой А.Д., а именно исследованы триботехнические
свойства МДО-покрытий в силикатно-щелочных, боратных и фосфатных
электролитах с различным типом и содержанием пассиватора. Показана
возможность использования предложенных в работе способов увеличения
износостойкости алюминия и его сплавов за счет создания упрочненных
прекурсорных слоев заданного и регулируемого фазового состава с
последующим МДО, которые реализуются с использованием комбинации
методов МДО и холодного газодинамического напыления (ХГДН). Показана

возможность модификации поверхности, позволяющей получать керамические антифрикционные самосмазывающиеся покрытия, сформированные с применением МДО.

Это свидетельствует об актуальности выполненного исследования с точки зрения выбора объектов и использованных методов, то есть работа в этом отношении соответствует требованиям к диссертациям, представляемый на соискание ученой степени.

Целью исследования является увеличение износостойкости трибосопряжений за счет формирования композиционных керамических покрытий на поверхностях трения методом микродугового оксидирования. Диссертантом успешно выполнены поставленные в работе цель и задачи.

Научная новизна работы

На основании экспериментальных данных установлено, что составы водных электролитов с различными типами и концентрациями пассиватора оказывают влияние на изменение структурных характеристик и триботехнических свойств керамических покрытий, полученных с помощью метода микродугового оксидирования алюминия и его сплавов.

Структурные преимущества керамических покрытий, полученных в боратных электролитах, были экспериментально выявлены и обоснованы, что приводит к увеличению износостойкости алюминия и его сплавов в 3,1 раза после процесса микродугового оксидирования на опытных образцах.

Созданы новые перспективные технические подходы к формированию покрытий, способствующие увеличению износостойкости алюминированных поверхностей на опытных образцах после микродугового оксидирования в 3,4 – 3,8 раза. Данный эффект достигается путем создания модифицированных прекурсорных слоев с фактически задаваемым химическим составом при использовании метода «холодного» газодинамического напыления.

На основании экспериментальных данных подтверждена возможность внедрения антифрикционных материалов, таких как фторопласт, графит, дисульфид молибдена и медь, в поровое пространство керамических покрытий, полученных методом микродугового оксидирования, что может приводить к снижению коэффициента трения в паре "покрытие – стальной материал" до значений 0,08 (сухое трение) и 0,06 (при использовании индустриального масла). Также обоснованы ключевые параметры, оказывающие влияние на маслосъемность пористых керамических покрытий.

Теоретическая и практическая значимость

Установлена взаимосвязь между химическим составом водных электролитов, структурой формируемых керамических покрытий и их устойчивостью к износу для технологии микродугового оксидирования алюминия и его сплавов.

Выявлены структурные преимущества керамических покрытий, полученных в боратных электролитах, которые способствуют повышению износо- и коррозионной стойкости алюминия и его сплавов. Разработанная

технология модификации поверхности защищена патентом Российской Федерации № 2714015.

Выявлены преимущества создания упрочняющих прекурсорных слоев с регулируемым химическим составом, которые в дальнейшем подвергаются обработке методом микродугового оксидирования, что способствует повышению износостойкости алюминированных поверхностей. Разработанная технология защищена патентами Российской Федерации № 2678045 и № 2713763.

Применением методов расчета лакуарности и фрактальной размерности установлена однородность распределения упрочняющих керамических частиц в прекурсорном слое, предназначенном для дальнейшей обработки методом микродугового оксидирования. Это подтверждает преимущества использования метода "холодного" газодинамического напыления армированных порошков.

Разработаны антифрикционные керамические покрытия, обеспечивающие минимальный коэффициент трения при взаимодействии со стальным контртелом.

Достоверность полученных результатов основывается на использовании высокоточных современных химических и физико-химических стандартизированных методов исследований, проведенных с использованием аттестованного высокотехнологического оборудования, воспроизводимости экспериментальных результатов, а также обсуждением основных положений работы на российских и международных научных конференциях и их публикацией в научно-технических журналах, рекомендованных ВАК.

По результатам исследования 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.), 3 патента РФ на изобретение, 17 тезисов докладов международных и всероссийских конференций.

Общая характеристика диссертационной работы

Работа Быковой А.Д. состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы и 3 приложений.

Во *Введении* обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цели и задачи работы, показана научная новизна, теоретическая и практическая значимость исследования, сформулированы положения, выносимые на защиту.

В *1 главе* приведен краткий обзор современных методов упрочнения поверхностей трения. Указано, что среди данных методов одним из наиболее перспективных является микродуговое оксидирование, который является относительно новым методом упрочняющей обработки поверхности металлов путем формирования на ней керамических покрытий. Отмечено, что данный способ поверхностной обработки деталей является достаточно простым и экологически безопасным, а также позволяет наносить защитные покрытия с высокими механическими свойствами на изделия сложной формы. Показано,

что актуальным вопросом является исследование возможностей дополнительного увеличения триботехнических свойств МДО-покрытий.

Во 2 главе приведено описание оборудования и материалов, используемых в научном исследовании. Описаны методики анализа функциональных характеристик образцов покрытий.

В 3 главе приведены результаты исследования структурных и триботехнических свойств керамических покрытий, сформированных методом МДО в катодно-анодном режиме в силикатно-щелочных, боратных и силикатно-фосфатно-щелочных электролитах из экспериментальной выборки составов. Установлено, что наилучшую износостойкость демонстрируют МДО-покрытия, сформированные с применением боратного электролита. Определено, что существует возможность варьировать маслоудерживающую способность МДО-покрытий с помощью изменения параметров процесса микродугового оксидирования. Экспериментально обосновано влияние токовых характеристик и концентрации силикатно-щелочного электролита на маслоудерживающую способность формируемых керамических покрытий в процессе микродугового оксидирования алюминия. Показана возможность получения антифрикционных покрытий путем введения модификаторов в поверхностные поры для понижения коэффициента трения. Приведены примеры практического применения разработанных МДО-покрытий.

В 4 главе предложен и впервые экспериментально апробирован способ получения функционально-градиентного покрытия для защиты металлов от внешних высокотемпературных воздействий с финишным керамическим и прекурсорным упрочняющим интерметаллидным слоем, за счет преимуществ комплексного использования прогрессивных методов модификации поверхности. Показано, что совместное использование рентгенофазового анализа и термоаналитического метода информативно для исследования формирования интерметаллидных фаз, полученных термообработкой композиционных покрытий системы «алюминий-никель». Показано, что прекурсорный алюминиевый слой, предназначенный для финишной обработки микродуговым оксидированием, подвергается полному переходу в упрочняющее интерметаллидное соединение регулируемого фазового состава посредством варьирования режимов термообработки. Также в этой главе экспериментально показано, что керамические покрытия, сформированные методом МДО на металлах и сплавах, возможно модифицировать или упрочнять тугоплавкими частицами заданного фазового состава (на примере карбида кремния) не только из внешней среды через водный раствор электролита, но и через формирование прекурсорного ХГДН-слоя. Установлено, что способ упаковки частиц в композиционном прекурсорном ХГДН-слое влияет на возможные фазовые превращения при проведении МДО-обработки. Экспериментально определено, что введение 5 % мас. карбида кремния в МДО покрытие приводит к повышению его износостойкости.

В *Заключении* представлены обобщенные результаты исследования и достижения диссертанта.

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

В диссертации получены результаты, имеющие практическую значимость в области машиностроения, обладающие новизной и являющиеся оригинальными. Результаты соответствуют поставленным цели и задачам.

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.

Полученные акты об использовании результатов диссертационной работы подтверждают возможность практического применения результатов исследования.

Замечания и вопросы по диссертационной работе:

1. Литературный анализ показывает, что в качестве пассиваторной составляющей в составе электролитов для микродугового оксидирования алюминия и его сплавов в рамках научных исследований могут быть применимы и активно используются фосфаты, вольфраматы, сукцинаты, другие соли металлов. В связи с данным обстоятельством интересно узнать, чем обоснован такой конкретный выбор типов электролитов (таблица 3.1 диссертации).

2. В работе достаточно подробно описываются методы создания многослойных керамических покрытий с использованием преимуществ электрохимических и газотермических технологий, основанных на кардинально разных физико-химических принципах, было бы весьма информативно в данном случае представить результаты оценки адгезионных характеристик каждого слоя.

3. На стр.75 методика исследований приведена очень кратко и без ссылки на нормативные документы. Поэтому непонятно насколько корректно был проведен эксперимент.

4. На странице 98, Рис.3.12,3.13 представлены микрофотография фрагмента фторопластовой пленки и схема покрытия, содержащего твердосмазочные материалы. Почему на рис.3.13 не приведена микрофотография?

5. Стр.98-100 диссертации. Описана методика и установка для испытаний на трение. Это часть относится к главе 2 – Методология исследований.

6. На стр. 110 приведена термограмма покрытия Ni и Al, содержащего никель и алюминий, однако не описана последовательность превращений, не проведено сравнение с диаграммой состояний. При этом на рис.4.7 приводится изменение фазового состава покрытий в зависимости от температуры (по результатам высокотемпературного РФА).

7. Хотелось бы узнать, проводилась ли оценка экономической целесообразности применения разработанных технологий керамических

покрытий по сравнению с существующими (более распространенными) газотермическими методами модификации поверхности металлов и сплавов?

Вместе с тем, указанные замечания не влияют на общую положительную оценку работы. Диссертация А.Д. Быковой представляет завершённое исследование, направленное на решение актуальных задач машиностроения.

Заключение по работе

Диссертационная работа Быковой Алины Дмитриевны на тему: «Увеличение износостойкости поверхностей трения за счёт 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 соответствии 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  Толочко Олег Викторович

Толочко Олег Викторович

Доктор технических наук (специальность 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов)

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

Профессор Высшей школы физики и технологии материалов

Адрес: 195251, г.Санкт-Петербург, ул.Политехническая, дом 29

Тел: +7 (904) 515-41-92

e-mail: tolochko_ov@spbstu.ru

Подпись официального оппонента Толочко Олега Викторовича заверяю: 