



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования

«Балтийский государственный технический
университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»
(БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова)

1-я Красноармейская ул., д. 1, Санкт-Петербург, 190005

Тел./факс: (812) 316-23-94; (812) 490-05-91

e-mail: bgtu@voenmeh.ru; <http://www.voenmeh.ru>

ОКПО 02066374, ОГРН 1027810328721

ИНН/КПП 7809003047/783901001

24.12.2025 № 6/12-25-A2

На _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ

Ректор

д.т.н., профессор

А.Е. Шапурин

« 24 » декабря 2025 г.



НИЦ «Курчатовский институт» ЦНИИ КМ «Прометей»	
Вх. № 86/01-28/54910	№
«19» 01 2026 г.	
Осн. 6 л.	подп.
Прил. — л.	

**ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БАЛТИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ВОЕНМЕХ» ИМ. Д.Ф. УСТИНОВА»
(БГТУ «ВОЕНМЕХ» ИМ. Д.Ф. УСТИНОВА)**

на диссертационную работу Гошкодери Михаила Евгеньевича на тему
«Разработка износостойких покрытий из композиционных
металлокерамических порошков на основе титана, армированных частицами
оксидов и боридов», представленную на соискание учёной степени кандидата
технических наук по специальности 2.6.17. «Материаловедение»
(технические науки)

Актуальность темы исследования

Одним из направлений развития горнодобывающей отрасли является обеспечение длительного эксплуатационного ресурса критически важных конструктивных элементов, таких как запорная арматура автоклавов и импеллеры флотационных машин. Возможность надежной и долгосрочной эксплуатации данных элементов напрямую связана с качеством защитных покрытий, эксплуатируемых в экстремально агрессивных условиях. В частности, это относится к работе при повышенном давлении и температуре в среде с высоким содержанием абразивных частиц, агрессивных химических компонентов и в условиях циклического теплового шока. Традиционно применялось импортное покрытие диоксида титана, которое производит

компания Mogas. В связи с прекращением поставок импортных аналогов существует критическая потребность в разработке отечественных композиционных металлокерамических покрытий, способных соответствовать и превосходить высокие технические требования по микротвердости, пористости и адгезии.

Структура и содержание работы

Диссертация состоит из введения, 5 глав, выводов по главам, заключения, списка литературы, приложения, содержит 180 страниц машинописного текста, включая 103 рисунка, 8 таблиц, 188 библиографических ссылок.

Во введении обозначены ключевые проблемы, связанные с применением износостойких покрытий в горнодобывающей промышленности, а также определена роль композиционных покрытий в защите импеллеров и запорной арматуры, обоснована актуальность выбранной темы, сформулированы цели и задачи диссертационного исследования.

В первой главе диссертации проведен анализ отраслей промышленности являющихся потребителями изделий из титановых сплавов. Особое внимание уделено горнодобывающей отрасли, а именно импеллерам флотационных машин и шаровой запорной арматуре автоклавов, где используются износостойкие покрытия. Выполнен обзор специфических эксплуатационных требований, предъявляемых к покрытиям для этих узлов, и представлена критическая оценка характеристик традиционно используемых импортных покрытий на основе диоксида титана. Проанализированы перспективные материалы для синтеза износостойких композиционных покрытий на основе титана, методы создания композиционных металлокерамических порошков (в частности, механическое легирование и газовый йодотранспортный синтез), а также проведен обзор современных технологий нанесения покрытий.

Во второй главе диссертации приведены объекты исследования, используемое оборудование и методики исследования. Для формирования композиционных порошков применялись порошки: титан марки ПТОМ-1, TiO_2 , TiB_2 и HfB_2 . Покрытия наносились на подложки, изготовленные из стали 20Х23Н18 и титанового сплава 5В. В работе автор использовал различные методы исследования структуры и свойств материалов.

В третьей главе диссертации представлены результаты производства и исследований композиционных металлокерамических порошков, полученных методами механического легирования и газового йодотранспортного синтеза. Приведены результаты отработки режимов механического легирования композиционных порошков систем Ti/TiO_2 ,

Ti/TiB₂ и Ti/HfB₂. Представлены данные о режимах газового йодотранспортного синтеза композиционных порошков систем Ti/TiB₂ и Ti/HfB₂. Проведено комплексное исследование морфологии, фракционного и фазового составов синтезированных порошков.

Четвертая глава диссертации посвящена результатам экспериментального исследования микроплазменного нанесения покрытий. Были исследованы режимы напыления матричного порошка титана (ПТОМ-1), а также поверхностно- и объемно-армированных композиционных порошков систем Ti/TiO₂, Ti/TiB₂ и Ti/HfB₂, которые напыляли на подложки из стали 20Х23Н18 и титанового сплава 5В. Проведен комплексный анализ морфологии, фазового состава, микротвердости, пористости и адгезии разработанных покрытий, включая их сравнение с коммерческим импортным покрытием диоксида титана от компании Mogas. По результатам сравнения установлено, что все разработанные покрытия обладают более высокой микротвердостью при меньшей пористости, чем покрытия Mogas. Для покрытия системы Ti/TiO₂ дополнительно проведена экспозиция в серной кислоте, определено значение нагрузки, требующееся для начального разрушения покрытия (отрыва) на границе с подложкой, и модуль нормальной упругости. Полученные результаты обосновывают целесообразность применения покрытия Ti/TiO₂ в качестве эффективной замены импортного аналога.

В пятой главе диссертации рассматриваются результаты опытно-промышленных испытаний композиционных покрытий системы Ti/TiO₂ нанесенных на контактные поверхности шаров и седел запорной арматуры автоклавов. Нарботка комплекта «шар-седло» с покрытием составила более 1460 часов непрерывной эксплуатации на момент представления диссертации, что подтверждается актом об использовании результатов предоставленным ООО «НИЦ «Гидрометаллургия».

Не вызывает сомнений, что полученные результаты обладают существенной научной новизной. К наиболее значимым из них стоит отнести: установленные зависимости микротвердости, пористости и адгезии покрытий, нанесенных на установке микроплазменного напыления на подложки из титановых сплавов, от содержания армирующих компонентов (TiO₂, TiB₂, HfB₂) в поверхностно- и объемно-армированных порошках; зависимость между температурой газового йодотранспортного синтеза композиционных порошков и микротвердостью формируемых покрытий; формирование промежуточных фаз TiO и TiB, в процессе микроплазменного

напыления композиционных порошков систем Ti/TiO_2 и Ti/TiB_2 на границе раздела матричный порошок титана/армирующие частицы (TiO_2 и TiB_2).

Стоит отметить большую практическую значимость работы, которая заключается в определении режима микроплазменного напыления порошка титана марки ПТОМ-1 на установке УГНП-7/2250, позволяющего формировать покрытия с пористостью не более 2 %, адгезией не менее 60 МПа и толщиной до 1 мм, что удовлетворяет требованиям к покрытиям, применяющимся для защиты импеллеров флотационных машин и запорной арматуры автоклавов.

Даны рекомендации по практическому использованию разработанных покрытий на основе композиционных металлокерамических порошков систем Ti/TiO_2 , Ti/TiB_2 , Ti/HfB_2 для шаровой запорной арматуры автоклавов кислотного выщелачивания руды и импеллеров флотационных машин, применяемых в горнодобывающей промышленности. Получен акт об использовании результатов от ООО «НИЦ «Гидрометаллургия».

Получено 3 патента РФ: способ газотермического напыления износостойких покрытий на основе системы Ti/TiB_2 , № 2791259, опубликован 06.03.2023; способ микроплазменного напыления износостойких покрытий на основе плакированных порошков системы Ti/TiB_2 , № 2812935, опубликован 05.02.2024; способ получения износостойкого покрытия на основе системы «титан-диоксид титана», №2823208, опубликован 22.07.2024.

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов

Основные научные положения и выводы работы, сделанные автором, представляются обоснованными. Их достоверность базируется на большом объеме экспериментального материала, полученного с применением современных методов исследования, а также подтверждается проверкой технических решений в промышленных условиях при проведении опытно-промышленных испытаний на АО «Покровский рудник», что подтверждается актом об использовании результатов кандидатской диссертации от ООО «НИЦ «Гидрометаллургия».

Автореферат полностью соответствует основным положениям диссертации. Основные результаты опубликованы в открытой печати в 29 научных работах, из них 13 в изданиях, рекомендованных перечнем ВАК РФ, 6 статей в изданиях, входящих в международную базу научного цитирования WEB of SCIENCE и SCOPUS, получено 3 патента РФ.

Замечания по диссертационной работе

1. Все разработанные порошки напылялись на подложки из стали марки 20Х23Н18 и титанового сплава марки 5В, однако в диссертации не указано почему были использованы именно эти материалы.

2. В диссертации представлены результаты экспериментов по исследованию износостойкости только для покрытий системы Ti/TiO₂, хотя в работе также представлены другие системы покрытий. Для целостного представления об уровне износостойкости разрабатываемых покрытий необходимо провести исследование для всех разрабатываемых систем.

3. В четвертой главе диссертации указано, что исследование фазового состава покрытий производилось на поверхности. Целесообразно провести дополнительное исследование фазового состава во внутреннем слое покрытия для оценки наличия фазы диоксида титана в толщине покрытия.

4. Отсутствует расчет экономического эффекта при внедрении разработанных покрытий взамен традиционно применяемого импортного покрытия диоксида титана, которое производит компания Mogas.

Заключение

Отмеченные недостатки не снижают теоретической и практической значимости выполненных исследований, а полученные в диссертации результаты соответствуют поставленным цели и задачам.

Диссертация М.Е. Гошкодери представляет собой законченное исследование, в котором разработаны новые научно-технические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие конструктивных элементов, применяемых в горнодобывающей промышленности.

Работа обладает всеми основными качествами кандидатской диссертации: актуальностью решаемой проблемы, новизной методов решения, значимыми научными результатами, практической ценностью разработанных способов их получения, и последующей возможностью применения для импеллеров флотационных машин и запорной арматуры автоклавов для кислотного выщелачивания руды.

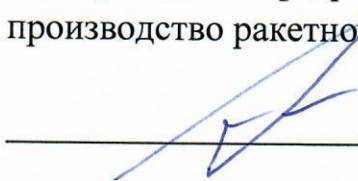
Выполненная работа соответствует п.9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. №842 с изменениями, утвержденными Постановлениями Правительства РФ, а ее автор Гошкодеря Михаил Евгеньевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата

технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение (технические науки).

Диссертация была заслушана и обсуждена на заседании кафедры А2 «Технология конструкционных материалов и производства ракетно-космической техники» БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова 24 декабря 2025 года (Протокол №12-1/2025).

Председатель

Заведующий кафедрой А2 «Технология конструкционных материалов и производство ракетно-космической техники», к.т.н., доцент

 Александр Юрьевич Андрюшкин

Секретарь

старший преподаватель кафедры А2 «Технология конструкционных материалов и производство ракетно-космической техники»

 Кирилл Аркадьевич Комаров

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова» (БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова).
Адрес: 190005, г. Санкт-Петербург, ул. 1-я Красноармейская, д. 1
E-mail: bgtu@voenmeh.ru
Тел.: +7 (812) 316-23-94


Всероссийский конкурс
Комаров К.А.
24.12.2025

Ознакомлен
19.01.2026 