

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

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

Актуальность избранной темы диссертационной работы

Обеспечение длительного ресурса работы современного оборудования в горнодобывающей промышленности напрямую зависит от надежности узлов, подвергающихся интенсивному износу, таких как запорная арматура автоклавов и импеллеры флотационных машин. Функционирование этих элементов протекает в экстремальных условиях, сочетающих высокое давление, абразивное воздействие и агрессивные химические среды при резких перепадах температур. В горнодобывающей отрасли в последние годы остро встала проблема импортозависимости, что в условиях геополитической обстановки привело к прекращению поставок зарубежных элементов для оборудования непрерывного цикла с защитными покрытиями. Актуальность диссертационного исследования Гошкодери М.Е. обусловлена необходимостью разработки технологий синтеза композиционных металлокерамических покрытий, обеспечивающих за счет управления микроструктурой, минимизацию пористости и повышение адгезионной прочности для замещения импортных покрытий. Создание таких материалов позволит не только решить задачу обеспечения технологического суверенитета, но и существенно повысить промышленную безопасность и экономическую эффективность эксплуатации высокотехнологичного оборудования.

Общая характеристика диссертационной работы

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, выводов по главам, заключения, списка литературных источников (188 наим.),

Министерство промышленности и торговли
ЦНИИ КМ «Прометей»

Вх. № 330/01-28/1140	№
13.02.2026г.	№
Ос. 6 л.	№
Фил. - л.	подп.

приложения. Объем диссертации – 180 страниц. Представлен акт об использовании результатов кандидатской диссертации.

Объектами исследования являются композиционные порошки систем Ti/TiO₂, Ti/TiB₂, Ti/HfB₂ и нанесенные на их основе покрытия.

Достоверность и обоснованность основных научных положений, результатов, выводов и рекомендаций работы обусловлена воспроизводимостью и согласованностью полученных данных, применением современных средств испытаний и исследований материалов, а также значительным объемом проведенных работ. Выводы по работе соответствуют поставленным задачам исследования.

Оценка содержания автореферата, оформления и апробации диссертационной работы. Автореферат полностью соответствует диссертации, отражает все ее основные положения и результаты. Диссертация и автореферат хорошо оформлены, текст написан грамотным техническим языком и не содержит критических технических ошибок. Текст подкреплен исчерпывающим иллюстративным и табличным материалом (103 рисунка и 8 таблиц). Результаты работы весьма подробно изложены в печатных работах с участием диссертанта (29 научных работ, 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). Апробация работы проведена на 11 научных конференциях с 2021 по 2024 год.

Научная новизна работы и практическая значимость

Работа имеет несомненную научную новизну, наиболее значимые ее положения состоят в следующем. Установлены зависимости микротвердости, пористости и адгезии покрытий от содержания армирующих компонентов TiO₂, TiB₂ и HfB₂ в поверхностно- и объемно-армированных порошках. Показано, что при снижении температуры газового йодотранспортного синтеза композиционных порошков возрастает микротвердость формируемых покрытий. Установлено, что в процессе напыления композиционных порошков систем Ti/TiO₂ и Ti/TiB₂ на границе раздела между матричными и армирующими частицами протекает химическое взаимодействие, приводящее

к изменению фазового состава и формированию промежуточных фаз, которые обеспечивают повышение когезии.

Практическая значимость работы состоит в разработке новых материалов покрытий для защиты контактных поверхностей импеллеров флотационных машин и запорной арматуры автоклавов. Полезный эффект от разработки подтвержден актом использования результатов кандидатской диссертации от ООО «НИЦ «Гидрометаллургия».

Анализ работы по разделам

Во введении обоснована необходимость перехода от традиционных защитных покрытий к высокотехнологичным металлокерамическим композитам, в частности, показана актуальность для горнодобывающей промышленности. Исследование основывается на принципе создания многокомпонентных систем, где сочетание преимуществ пластичной титановой матрицы и тугоплавких керамических включений позволяет компенсировать недостатки хрупких покрытий из оксидов и боридов.

В первой главе проводится комплексный обзор промышленных направлений, в которых наиболее востребовано использование изделий из титановых сплавов. Основной акцент сделан на потребностях горнодобывающего сектора, а именно на обеспечении работоспособности импеллеров флотационных машин и шаровой запорной арматуры автоклавов, работа которых невозможна без износостойких покрытий с комплексом свойств, включающих высокую адгезию, стойкость к абразивному износу, эффекту теплового шока и низкую пористость. В рамках раздела сформулированы строгие эксплуатационные требования к защитным слоям в рассмотренных узлах и дана критическая оценка характеристикам традиционных импортных покрытий на основе диоксида титана. Предложены перспективные материалы для создания отечественных композитов на базе титановой матрицы и изучены эффективные способы получения металлокерамических порошков, включая методы механического легирования и газового йодотранспортного синтеза. Завершается глава сравнением современных технологий напыления, что позволяет обосновать выбор

наиболее подходящего метода для формирования покрытий с заданными эксплуатационными свойствами.

Во второй главе приводится описание объектов исследования, приборной базы и используемых методик. Основу экспериментальной части составил синтез композиционных материалов из порошков титана марки ПТОМ-1 армированных TiO_2 , TiB_2 и HfB_2 , которые наносились на подложки из стали марки 20Х23Н18 и титанового сплава 5В. Для получения достоверных данных о структуре и свойствах полученных материалов в работе применен комплекс современных аналитических методов исследования.

В третьей главе изложены результаты синтеза и комплексного изучения металлокерамических порошков, разработанных методами механического легирования и газового йодотранспортного синтеза. Автором определены оптимальные режимы механосинтеза для систем Ti/TiO_2 , Ti/TiB_2 и Ti/HfB_2 , а также представлены подробные данные по параметрам йодотранспортного метода для борсодержащих композитов. Заключительная часть главы посвящена анализу морфологии, фазового строения и распределения частиц по размерам в синтезированных композиционных порошках.

В четвертой главе приводятся результаты экспериментального исследования процесса микроплазменного напыления. Автор изучил режимы формирования защитных слоев с использованием матричного порошка титана, а также систем с поверхностным и объемным армированием (Ti/TiO_2 , Ti/TiB_2 и Ti/HfB_2) на стальных и титановых подложках. В работе представлен сравнительный анализ структуры, фазового состава и ключевых эксплуатационных характеристик нанесенных покрытий в сопоставлении с зарубежным аналогом. Установлено, что разработанные составы превосходят импортный образец по показателям микротвердости и пористости. Дополнительные испытания системы Ti/TiO_2 на коррозионную стойкость в серной кислоте, а также оценка модуля упругости и критических нагрузок при начальных этапах адгезионного разрушения показали целесообразность примененного покрытия системы Ti/TiO_2 для полноценной замены ранее применявшимся.

Пятая глава посвящена результатам опытно-промышленных испытаний разработанных покрытий системы Ti/TiO₂, нанесенных на элементы запорно-регулирующей арматуры автоклавов для кислотного выщелачивания. Экспериментальная проверка проводилась на контактных поверхностях пар «шар-седло» Ø247 мм. К моменту завершения исследования зафиксированная наработка комплекта в условиях непрерывного производственного цикла составила более 1460 часов эксплуатации без потери функциональных свойств. Успешное прохождение испытаний и подтвержденная надежность разработанных покрытий в промышленных средах задокументированы соответствующим актом об использовании результатов работы.

В заключении содержится краткое обобщение и основные выводы по работе из 8 пунктов. Выводы отражают основные результаты проведенных исследований и соответствуют поставленным цели и задачам работы.

Замечания по рассмотренной диссертационной работе

На основании рассмотрения диссертационной работы и автореферата можно сделать следующие замечания:

1. Не указано, насколько критична чистота используемых порошков для конечных свойств покрытия.
2. Автору следовало указать, почему для подложек были выбраны именно сталь 20Х23Н18 и сплав 5В.
3. Насколько экономически оправдано использование диборида гафния, учитывая его высокую стоимость?
4. Какова разница в себестоимости производства отечественного порошка по сравнению с покупкой импортных комплектующих?

Сделанные замечания не снижают положительной оценки работы, так как не затрагивают ее основные положения, научную новизну и выводы по работе.

Заключение

Диссертационная работа Гошкодери Михаила Евгеньевича является законченной научно-квалификационной работой в области материаловедения, в которой решена задача по разработке износостойких покрытий из композиционных металлокерамических порошков на основе титана,

