

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 работы.

При создании конструкций и устройств, узлы и детали которых подвержены действию высоких контактных нагрузок, химически агрессивных сред и эрозионным процессам, перспективным является использование износо- и коррозионностойких защитных покрытий. Формирование покрытий на поверхности конструкционных материалов наделяет их новыми функциональными и эксплуатационными свойствами и существенно увеличивает ресурс работоспособности.

Однако известные отечественные покрытия не в полной мере отвечают всё возрастающим требованиям к их работоспособности в экстремальных условиях, особенно для изделий и техники в горнодобывающей, металлообрабатывающей, аэрокосмической и атомной отраслей. По этой причине исследования и разработки, направленные на импортозамещение, создание более совершенных типов покрытий и, что особенно важно, в сочетании с реализуемыми на практике технологиями их формирования и ремонта, важны и востребованы.

Поэтому тема диссертационной работы Гошкодери М.Е. является, безусловно, актуальной, а сама работа – своевременной.

Общая характеристика работы.

Автором критически рассмотрены современные и перспективные материалы для создания износостойких покрытий применительно к изделиям горнодобывающей промышленности из титановых сплавов, методы получения композиционных металлокерамических порошков и технологии формирования из них покрытий. Исследованы особенности состава, строения и свойств традиционно применяемых импортных покрытий на основе диоксида титана. Опираясь на результаты критического анализа данных, четко сформулированы требования к разрабатываемым покрытиям, поставлены цель и задачи исследования. Следует особенно отметить системность и широту проведенного обзора литературы (188 источников), который весьма полезен для специалистов.

ЦНИИ КМ «Прометей»	
Вх. № 263/ср.	28/1570
«9» 02 2026 г.	№ _____
Осн. 5 л.	подп. _____
Прил. _____ л.	

Автором убедительно обоснован выбор технологий синтеза для получения композиционных металлокерамических порошков в системах Ti/TiO_2 , Ti/TiB_2 и Ti/HfB_2 . Показано, что при механическом легировании матричного порошка титана фракцией 50-90 мкм армирующими компонентами дисперсностью 0,08-0,2 и 0,5-15 мкм формируются поверхностно- и объемно-армированные частицы соответственно. Успешно применен метод газового йодотранспортного синтеза для плакирования титаном частиц TiB_2 и HfB_2 . Установлены взаимосвязи между составами исходных порошковых смесей и параметрами техпроцессов синтеза, с одной стороны, морфологией, гранулометрическим и фазовым составами продуктов – с другой. Важно подчеркнуть, что предложенные подходы и накопленный опыт могут быть адаптированы для получения композиционных металлокерамических порошков других систем, в том числе с более высокой степенью гетерофазности, что важно для решения смежных материаловедческих задач.

Выполнен впечатляющий объем экспериментальных работ и последующих структурных исследований, позволивших разработать технологию формирования качественных защитных покрытий из созданных композиционных порошков с привлечением метода аргоно-дугового микроплазменного напыления. Важно, что благодаря минимальному термическому действию на подложки и напыляемые материалы, обеспечивается минимизация нагрева получаемых покрытий, что снижает влияние сжимающих остаточных напряжений в процессе их охлаждения. Установлены зависимости между долей армирующих компонентов TiO_2 , TiB_2 , HfB_2 в порошках и значениями микротвердости, пористости, адгезии формируемых покрытий на подложках из нержавеющей стали аустенитного класса 20X13H18 и титанового псевдо- α -сплава 5В. Это свидетельствует об успешной реализации автором классического подхода в рамках исследования, заключающегося в установлении материаловедческой триады «состав – структура – свойства». Таким образом, в работе получены новые составы технологически реализуемых износостойких покрытий.

Положительные результаты опытно-промышленных испытаний покрытий системы Ti/TiO_2 , нанесенных на контактные поверхности шаров и седел запорной арматуры автоклавов кислотного выщелачивания, подтвердили высокую эффективность их защитного действия в условиях интенсивного коррозионно-абразивного износа.

Работа в целом написана ясным, профессиональным языком, с понятным обоснованием сделанных автором выводов и оставляет благоприятное впечатление при ее прочтении.

Научная новизна.

Соглашаясь в целом с научной новизной работы, сформулированной автором, следует отметить главное:

- установлены закономерности формирования поверхностно- и объемно-армированных композиционных порошков в системах Ti/TiO₂, Ti/TiB₂ и Ti/HfB₂ методом механического синтеза и плакирования титаном частиц TiB₂ и HfB₂ методом газового йодотранспортного синтеза;

- установлены зависимости морфологии микроструктуры, микротвердости, пористости и адгезионной прочности покрытий, сформированных методом микроплазменного напыления на подложках из 20X13H18 и 5B, от составов и параметров синтеза композиционных порошков.

Рекомендации по практическому использованию основных результатов работы.

Результаты диссертации безусловно представляют практический интерес. Созданные технические решения могут быть использованы при разработке и проектировании элементов и узлов оборудования для горнодобывающей промышленности (флотационные машины и автоклавы кислотного выщелачивания), а также в других отраслях, где требуются износостойкие покрытия, в том числе с одновременной стойкостью к химической и электрохимической коррозии.

Высокая практическая значимость результатов подтверждена получением 3-ех патентов РФ на изобретения (№ 2791259, 2812935 и 2823208), а также актом об использовании результатов в ООО «НИЦ «Гидрометаллургия».

С содержанием диссертации целесообразно ознакомить материаловедов и технологов отраслевых предприятий горнодобывающего, металлообрабатывающего, аэрокосмического и атомного секторов промышленности.

Достоверность полученных результатов обеспечена комплексным применением поверенного аналитического оборудования, проведением измерений и испытаний по стандартизованным методикам, воспроизводимостью экспериментальных результатов и их соответствием современным знаниям в области материаловедения и физической химии.

Замечания.

1. В диссертации отмечено, что разработанные покрытия в системе Ti/TiO₂ характеризуются микротвердостью до 985 HV, тогда как для импортного покрытия TiO₂ (Mogas) значения не превышают 750 HV. Не

ясно, какие механизмы обеспечивают столь значительное повышение микротвердости при замене чисто керамического слоя TiO_2 на металлокерамический слой Ti/TiO_2 . Наличие микроструктур покрытий при высоких увеличениях, вероятно, позволило бы объяснить данный эффект с помощью механизмов дисперсионного и зернограничного упрочнения матричной фазы, однако эти микроструктуры в диссертации не приведены.

2. В разделе 4.2 (стр. 118) установлено, что наивысшее значение микротвердости 985 HV покрытий в системе Ti/TiO_2 достигается при содержании в синтезированном порошке 16 масс. % TiO_2 . С чем связан эффект снижения микротвердости покрытий до 850 HV при увеличении доли керамической составляющей в порошке до 24 масс. % TiO_2 ?

3. В разделе 4.4 (стр. 130) установлено, что при увеличении доли HfB_2 в синтезированном порошке с 50 до 60 масс. % происходит существенное снижение пористости формируемых покрытий в системе Ti/HfB_2 – с 7,6 до 4 %. С чем это связано?

4. В разделе 4.7 (стр. 144) отмечено, что «покрытие системы Ti/TiO_2 демонстрирует уникальное сочетание высокой твердости и низкого модуля упругости, что косвенно указывает на высокий коэффициент упругого восстановления и на потенциально высокую сопротивляемость пластической деформации». Требуется дополнительное разъяснение к данному утверждению, т.к. низкий модуль упругости обычно свидетельствует о высокой податливости (низкой жесткости), что положительно сказывается на вязкости разрушения и поглощении механических вибраций.

Сделанные замечания не снижают научной и практической ценности диссертации и общей высокой оценки работы.

Диссертационная работа Гошкодери Михаила Евгеньевича выполнена на высоком научно-техническом уровне. Она представляет собой самостоятельную законченную научно-квалификационную работу, в которой изложены научно-обоснованные технические и технологические решения по созданию современных, востребованных износ- и коррозионностойких металлокерамических покрытий, обеспечивающих высокие функциональные и эксплуатационные свойства изделиям за счет формирования требуемой микроструктуры.

Содержание диссертационной работы полностью отвечает пунктам 1, 2, 6, 10, 11 и 12 Паспорта специальности 2.6.17. «Материаловедение» (технические науки).

Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли апробацию на 11 научно-технических конференциях, опубликованы в 29 печатных работах, в том числе 11 – в изданиях, входящих в перечень ВАК, 3

из которых переведены и одновременно опубликованы в журналах, входящих в международные системы цитирования (МСЦ) Scopus и Web of Science; 3 – в изданиях, включенных в МСЦ; 3 – патенты РФ на изобретения; 9 – тезисов докладов в сборниках конференций, научных школ и форумов. Результаты диссертационной работы могут быть использованы в области материаловедения и технологий применительно к задачам повышения износо- и коррозионной стойкости для изделий горнодобывающего, металлообрабатывающего, аэрокосмического и атомного секторов промышленности.

Автореферат и опубликованные работы полностью отражают содержание диссертации.

По научному уровню, полученным результатам, содержанию и оформлению представленная диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям п.п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденном Постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор, Гошкодеря Михаил Евгеньевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. «Материаловедение» (технические науки).

Официальный оппонент,
доцент кафедры «Перспективные материалы
и технологии аэрокосмического назначения»
федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)»,
кандидат технических наук по специальности 05.16.09 –
«Материаловедение» (машиностроение, машиноведение)


Астапов Алексей Николаевич
05.02.2026г.

Подпись Астапова А.Н. удостоверяю.

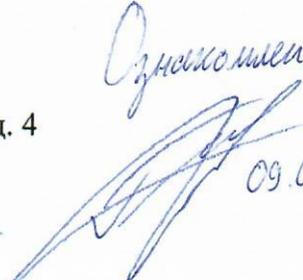
Директор Дирекции Института 9
Общеинженерной подготовки  Костиков Юрий Александрович
М.П.

Тел.: +7-499-158-00-06

E-mail: astapovan@mai.ru

Адрес организации: 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4

Сайт организации: <http://www.mai.ru>


09.02.2026