

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ

**ИНСТИТУТ
ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И
ПРИКЛАДНОЙ МЕХАНИКИ
им. С.А. ХРИСТИАНОВИЧА
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ИТПМ СО РАН)**

ул. Институтская, 4/1, г. Новосибирск, 630090
Для телеграмм: Новосибирск-90, Звук
Факс (383) 330-72-68
Телефон (383) 330-42-68
E-mail: admin@itam.nsc.ru
ОКПО 03533783, ОГРН 1025403641900
ИНН/КПП 5408100018/540801001

13.02.2026 № 15313-6/143

На 48/13-42 от 15.12.2025
Отзыв на автореферат

НИЦ «Курчатовский институт» –
ЦНИИ КМ «Прометей»

Диссертационный совет 75.1.018.01

ул. Шпалерная, д.49,
г. Санкт-Петербург, 191015
opnk-prometey@crism.ru

НИЦ «Курчатовский институт»- ЦНИИ КМ «Прометей»	
Доу	Вх. № <u>456/01-28/1509</u>
	« <u>02</u> » <u>03</u> 20 <u>26</u> г.
	Осн. <u>4</u> л.
	Прил. <u>-</u> л.
	№ _____
	подп. _____

ОТЗЫВ

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

Представленный автореферат посвящён разработке и исследованию характеристик износостойких композиционных покрытий Ti/TiO₂, Ti/TiB₂, Ti/HfB₂, формируемых методом плазменного напыления. Рассматриваемая задача связана с повышением ресурса узлов запорной арматуры автоклавов и импеллеров флотационных машин, работающих в условиях интенсивного абразивного и коррозионного воздействия. Актуальность исследований не вызывает сомнений и подтверждается запросом промышленных предприятий.

В автореферате представлены результаты системного исследования композиционных порошков систем Ti/TiO₂, Ti/TiB₂ и Ti/HfB₂, полученных методами механического легирования и газового йодотранспортного синтеза, а также покрытий, сформированных плазменным методом. Установлены закономерности формирования поверхностно- и объёмно-армированных порошков, выявлены оптимальные соотношения размеров матричных и армирующих частиц, а также режимы синтеза и напыления, обеспечивающие

требуемые характеристики покрытий.

К важным научным результатам работы следует отнести:

- разработана методика изготовления композиционных порошков Ti/TiO₂, Ti/TiB₂, Ti/HfB₂ используемых для плазменного напыления, установлено влияние содержания армирующих фаз (от 8 до 60 %) на микротвердость, пористость и адгезию покрытий. Установлено формирование вторичных фаз TiO, TiB, HfO₂ в процессе плазменного напыления материалов в воздушной атмосфере.

- разработан технологический режим плазменного напыления, обеспечивающий высокие механические характеристики покрытия Ti/TiO₂ (16% вес.): адгезионная прочность 53 МПа, пористость 2-3%, микротвердость 985 HV, модуль упругости 143 ГПа.

- полученное покрытие Ti/TiO₂ (16% вес.) на деталях запорной арматуры типа «шар-седло» прошло опытно-промышленные испытания в течение 1460 часов.

К содержанию работы, представленному в автореферате, есть следующие замечания и вопросы:

– в качестве ориентира автор использует зарубежное покрытие TiO₂ производителя Mogas (США), вероятно, имеется в виду серийное покрытие М7. Приведенные для него физико-механические и эксплуатационные характеристики (пористость до 13 %, адгезионная прочность до 40 МПа (стр. 3, 21), срок службы 1460 часов (2 месяца) выглядят заниженными. Типичные значения пористости покрытия М7 составляют 1.5-2 %, адгезия 60-65 МПа, плановая длительность рабочей кампании автоклава составляет 3-6 месяцев. Каким образом измеряли адгезионную прочность референсного покрытия и может ли высокая измеренная пористость быть связана с выкрашиванием материала при пробоподготовке?

– идентификация фазового состава материалов по результатам РФА вызывает вопросы. Не указаны режимы съемки (тип излучения, диапазон углов 2θ и т. д.) и по каким базам данных (карточкам) идентифицировали фазы. Если использовалось стандартное излучение CuKα (1.54 Å), рефлексы, отмеченные «Ti» на рис. 6б (2θ = 44°, 48°, 51°), не соответствуют гексагональному α-Ti (например, карточка ICSD 44-994). Основные пики α-Ti, имеющие положение 35°, 38°, 40°, отсутствуют на рис. 6б (покрытие Ti/TiO₂), однако видны на рис. 8б (покрытие Ti/TiB₂) и рис. 10б (покрытие Ti/HfB₂). Положение рефлексов Ti на дифрактограмме порошка ПТОМ-1 на рис. 2.26 в диссертации также не соответствует стандартным карточкам.

Сильные пики TiO на рис. 6б (47, 55°) не соответствуют кубической фазе монооксида (например, ICDD PDF 01-072-1398). Пики на 62-63° и 75° на рис. 8б и 12б отнесены к TiO₂, однако близкий пик в районе 75° имеется лишь у монооксида TiO, основные рефлекссы которого на 37° и 43° также имеются на спектре, но отнесены к TiB. Ясность в указанном вопросе мог бы внести анализ непоказанной области углов менее 30°, в которой могут находиться якорные пики TiO₂ 25° (анатаз) либо 27° (рутил). При расшифровке дифрактограм покрытий не рассматривается нитрид титана TiN, который как правило образуется при напылении титана в открытой атмосфере и имеет пики 37°, 43° и 62° схожие с TiO.

– в автореферате и диссертации не приводятся условия измерений адгезионной прочности покрытий штифтовым методом (диаметр штифта d , толщина покрытия h , количество образцов). Такой метод обладает известными недостатками (подклинивание штифта, мембранный эффект при малой толщине покрытия $h/d < 0.5$), поэтому предпочтительно использовать клеевой метод по стандарту ISO 14916 или ASTM C633. С чем автор связывает одинаковый уровень адгезии 53-57 МПа для всех типов покрытий?

– большое внимание в работе уделено сравнению микротвердости композиционных покрытий, однако выбор материала для применения на запорной арматуре сделан исходя из соображений коррозионной стойкости покрытия Ti/TiO₂ при воздействии серной кислоты. Почему не проводились аналогичные коррозионные испытания для других армирующих материалов Ti/TiB₂, Ti/HfB₂. Если армирующая фаза TiO₂ имеет преимущества по стойкости, целесообразно продемонстрировать это экспериментально.

Указанные замечания не снижают практической значимости диссертации, в которой представлена полноценная технология нанесения защитных композиционных титан-матричных покрытий с применением компактного электродугового плазмотрона мощностью 3 кВт. Разработанные покрытия систем Ti/TiO₂ и Ti/HfB₂ отличаются плотной, малодефектной микроструктурой, сплошной границей раздела с основой, высокой адгезией на уровне 55 МПа. Это хорошие показатели для газотермических покрытий. Важным результатом является достигнутое сочетание высокой твердости (985 HV) и низкого модуля упругости (143 ГПа) покрытия Ti/TiO₂, которое позволяет избежать хрупкости защитного слоя. Работа хорошо апробирована, получены 3 патента и акт внедрения на промышленном предприятии.

Диссертационная работа «Разработка износостойких покрытий из

композиционных металлокерамических порошков на основе титана, армированных частицами оксидов и боридов» является законченной научно-квалификационной работой, которая соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, а её автор Гошкодера Михаил Евгеньевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение (технические науки).

Гуляев Игорь Павлович,
кандидат физико-математических наук, доцент,
старший научный сотрудник ИТПМ СО РАН,
телефон: +7 (383) 347-77-77 (доб. 550)
e-mail: gulyaev@itam.nsc.ru



Адрес места работы: 630090, г. Новосибирск, ул. Институтская, 4/1.
ФГБУН «Институт теоретической и прикладной механики им. С.А.
Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук»
телефон: +7(383) 330-72-68
e-mail: admin@itam.nsc.ru
сайт: www.itam.nsc.ru

Ознакомлен
[Signature]
02.03.2026