

## СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ

**Диссертационный совет:** 24.2.327.04 (Д 212.125.15)

**Соискатель:** Митрофанов Андрей Леонидович

**Тема диссертации:** «Исследование свойств и структурно-фазовых характеристик многокомпонентных оксидных порошков на основе системы  $ZrO_2-Al_2O_3$  и  $Yb_2Si_2O_7$  и порошковых плазменных покрытий на их основе» выполнена в Образовательном центре Института №11 «Новые материалы и производственные технологии» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» и в отделении «Металлические композиционные материалы и спецпокрытия» Акционерного Общества «Композит».

**Специальность:** 2.6.5. Порошковая металлургия и композиционные материалы (технические науки).

**Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации:** на заседании 18 декабря 2025 года, протокол № 298/25, диссертационный совет пришел к выводу, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, по научному уровню, полученным результатам, содержанию и оформлению она удовлетворяет всем требованиям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденном Постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, и принял решение присудить Митрофанову Андрею Леонидовичу ученую степень кандидата технических наук.

### **Присутствовали:**

Мамонов А.М. – председатель диссертационного совета;

Скворцова С.В. – ученый секретарь диссертационного совета;

Члены диссертационного совета:

д.т.н. Абраимов Н.В., д.т.н. Андрианова Н.Н., д.т.н. Бецофен С.Я., д.т.н. Бабаевский П.Г., д.т.н. Бухаров С.В., д.т.н. Гусев Д.Е., д.т.н. Жуков А.А., д.т.н. Иванов Д.А., д.т.н. Коллеров М.Ю., д.т.н., Крит Б.Л., д.т.н. Лозован А.А., д.т.н. Никитина Е.В., д.т.н. Серов М.М., д.т.н. Слепцов В.В., д.т.н. Терентьева В.С., д.т.н. Чекалова Е.А., д.т.н. Шляпин С.Д.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

С.В. Скворцова

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.327.04 (Д 212.125.15)  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»  
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ,  
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК**

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 18 декабря 2025 года № 298/25

О присуждении Митрофанову Андрею Леонидовичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Исследование свойств и структурно-фазовых характеристик многокомпонентных оксидных порошков на основе системы  $ZrO_2-Al_2O_3$  и  $Yb_2Si_2O_7$  и порошковых плазменных покрытий на их основе» по специальности 2.6.5. «Порошковая металлургия и композиционные материалы» (технические науки) принята к защите 09 октября 2025 г., протокол №293/25 диссертационным советом 24.2.327.04 (Д 212.125.15), созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д.4, приказ о создании совета № 129/нк от 22.02.2017 г. и приказ о внесении изменений в состав совета № 1131/нк от 23.05.2023 г.

Соискатель Митрофанов Андрей Леонидович, 30 ноября 1996 года рождения, в 2020 году окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», в 2024 году окончил очную аспирантуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», работает начальником участка в АО «Композит» Государственной корпорации по космической деятельности «Роскосмос».

Диссертация выполнена в Образовательном центре Института № 11 «Новые материалы и производственные технологии» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель:

доктор технических наук Лозован Александр Александрович, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Образовательный центр Института №11 «Новые материалы и производственные технологии», профессор.

Официальные оппоненты:

Кузнецов Вячеслав Геннадьевич, доктор технических наук, главный научный сотрудник, федеральное государственное бюджетное учреждения науки Институт проблем машиноведения Российской академии наук, лаборатория модифицирования поверхностей материалов, заведующий лабораторией;

Патрушев Александр Юрьевич, кандидат технических наук, доцент, НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ, лаборатория «Специальные металлические материалы и магниты», начальник сектора

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», г. Москва, в своем положительном отзыве, подписанном Суминовым И.В., директором центра новых материалов и технологий, доктором технических наук, профессором и утвержденном Капитановым А.В., и.о. проректора по научной работе, указала, что диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям п.п. 9-14 Положения о присуждении учёных степеней, утвержденном Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.5. Порошковая металлургия и

композиционные материалы (технические науки).

Соискатель имеет 19 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 19 работ, из которых 2 статьи в журналах, рекомендованных ВАК и 2 статьи в изданиях, индексируемых в Scopus.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. А. А. Ашмарин. Особенности термического расширения трип-сталей и композитных покрытий / А. А. Ашмарин, А. А. Лозован, С. Я. Бецофен, Е. Н. Лукин, М. И. Гордеева, А. Л. Митрофанов, А. Н. Быкадоров // Деформация и разрушение материалов. № 11. –Москва 2023. –С. 13–21 (Белый список, К3)

A. A. Ashmarin. Thermal Expansion of TRIP Steels and Composite Coatings / A. A. Ashmarin, S. Ya. Betsofen, A. A. Lozovan, E. I. Lukin, M. I. Gordeeva, A. L. Mitrofanov A. N. Bykadorov // Russian Metallurgy (Metally), Vol. 2024, No. 2, pp. 379–386 (Scopus, Q4).

2. А. Л. Митрофанов. Исследование влияния температуры на структуру и фазовый состав покрытий  $\text{Yb}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ , нанесенных атмосферным плазменным напылением на подложки из сплава X20N80 и ситалла / А.Л. Митрофанов, А. А. Лозован, С. Я. Бецофен, А. С. Ленковец, С. В. Савушкина, А. А. Ашмарин // Деформация и разрушение материалов. № 8. –Москва 2025. – С. 18–25 (Белый список, К3).

A. L. Mitrofanov. The Influence of Temperature on the Structure and Phase Composition of  $\text{Yb}_2\text{Si}_2\text{O}_7$  Coatings Applied on Kh20N80 Alloy and Sitall Substrates by Atmospheric Plasma Spraying / A. L. Mitrofanov, A. A. Lozovan, S. Ya. Betsofen, A. S. Lenkovets, S. V. Savushkina and A. A. Ashmarin // Russian Metallurgy (Metally), Vol. 2025, No. 4, P. – 753–758 (Scopus, Q4)

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных Митрофановым А.Л. работах.

На автореферат поступило 7 отзывов: от ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)» за подписью профессора кафедры ЭПУ, д.т.н. Шаповалова В.И.; от ФГУН Института металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской

академии наук за подписью ведущего научного сотрудника лаборатории физикохимии и технологии покрытий, к.т.н. Комлева Д.И.; от ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» за подписью заведующего кафедрой порошковой металлургии и функциональных покрытий, директора Научно-учебного центра СВС МИСиС-ИСМАН, д.т.н. Левашова Е.А.; от ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет» за подписью заведующего кафедрой «Материаловедение», д.т.н. Овчинникова В.В.; от ФГБУН «Институт теоретической и прикладной механики имени С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук» за подписью старшего научного сотрудника, к.ф.-м.н. Гуляева И.П.; от ФАУ «Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова» за подписью начальника отдела 200-06 «Прочность композиционных материалов», к.т.н. Мактыбекова Б.; от ФБГОУ ВО «Костромской государственной академии техники и транспорта» за подписью старшего преподавателя кафедры общей и теоретической физики, к.т.н. Комиссаровой М.Р.

Все отзывы положительные, в них отражена научная новизна, актуальность и практическая значимость работы, некоторые отзывы содержат замечания, например:

– использованная для нанесения покрытий  $ZrO_2-Al_2O_3$  скорость перемещения плазматрона 50 мм/с (таблица 6) является нетипично низкой, с чем связан такой выбор? Это может быть причиной перегрева и оплавления покрытия, о котором упоминает автор на стр. 14;

– представленный в автореферате материал не содержит обоснования выбора конкретных составов и соотношений компонентов для керамических защитных покрытий. Не указаны целевые функциональные характеристики покрытий, на достижение которых ориентирован выбор материалов, не ясно на основании каких показателей данные композиции рассматриваются как перспективные;

– не обозначено, имел ли место на подложках промежуточный подслой, необходимый для обеспечения адгезионной прочности керамических слоев

защитных покрытий. Не приведены численные значения полученной адгезионной прочности для различных вариантов покрытий и подложек.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их компетентностью в области данной диссертационной работы, подтвержденной наличием у них соответствующих публикаций, а также их согласием.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

доказано, что при атмосферном плазменном напылении фазовый состав покрытия зависит от количественного соотношения керамических порошков: для композиции 30PSZ/70Al наблюдается увеличение содержания *t*- и *m*- модификаций диоксида циркония и образование  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, для композиций 80PSZ/20Al и 18,5ZrO<sub>2</sub>/5CaO/76,5 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> происходит распад CaAl<sub>12</sub>O<sub>19</sub> на  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и CaO, а также стабилизация оксида циркония в модификациях *t*-ZrO<sub>2</sub> и *c*-ZrO<sub>2</sub>.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказано, что покрытия, полученные при атмосферном напылении порошка Yb<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub> на подложки из сплава X20H80 и ситалла, при нагреве в интервале температур 200° – 900°C имеют идентичный фазовый состав, состоящий из  $\beta$ -Yb<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub> с моноклинной кристаллической решеткой и аморфной компоненты, составляющей 53% для подложки X20H80 и 69% для ситалла, последующий нагрев до 1000°C приводит к полной кристаллизации аморфной составляющей с образованием  $\beta$ -Yb<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>.

Применительно к проблематике диссертации результативно использован комплекс существующих базовых методов исследования состава, структуры и механических свойств порошков и покрытий, в том числе: микрорентгеноспектральная сканирующая микроскопия, энергодисперсионный рентгеноспектральный анализ, высокотемпературный рентгенофазовый анализ и механические испытания;

изложены результаты исследований влияния соотношения исходных компонентов системы ZrO<sub>2</sub>–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> на фазовый состав порошков и покрытий при комнатной температуре и после испытаний на жаростойкость при температуре

1200°C;

изучено влияние температуры нагрева при 200° – 1000°C на структуру и фазовый состав покрытия  $\text{Yb}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ .

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработаны технологические схемы высокочастотного переплава оксидов тугоплавких и керамических материалов с получением порошков в широком диапазоне гранулометрического состава и их атмосферного плазменного напыления, что может быть успешно использовано для производства различных многокомпонентных керамических порошков и защитных покрытий;

изложены данные по структурно-фазовым характеристикам покрытий на основе диоксида циркония и дисиликата иттербия, которые могут быть использованы при конструировании новых многокомпонентных защитных покрытий.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что:

для экспериментальных работ результаты получены на сертифицированном оборудовании с применением современных методов исследования, показана воспроизводимость результатов измерений физико-механических свойств;

идея базируется на анализе практики и обобщении передового опыта создания термобарьерных покрытий на материалах, применяемых в авиационной и космической технике.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном и активном участии в формировании цели и задач исследования, в разработке технологической схемы высокочастотного переплава, в проведении теоретических и экспериментальных исследований, анализе и обработке полученных результатов, их обобщении, формулировке рекомендаций и выводов по диссертации, в подготовке основных публикаций по теме диссертации, личном участии автора в апробации результатов исследования.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

– Вы использовали метод измерения адгезии «на отрыв», почему не использовали «на срез»?

– не совсем ясна причина отслоений покрытий на основе оксидов циркония и алюминия, а также исследовали ли ТКЛР для данных покрытий;

– в работе указано о нанесении полученных покрытий на четыре различные подложки, но нет указания об их влиянии на покрытие.

Соискатель Митрофанов А.Л. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию:

– в связи с рельефной, текстурированной поверхности покрытий проведение испытаний «на срез» на таких поверхностях приводит к неточности результатов, что связано с боковыми усилиями, возникающими при надрезании покрытия, которые характеризуют скорее хрупкость покрытия, чем прочность его адгезионных связей;

– предположительно, в связи со значительными фазовыми переходами, которые наблюдались как после нанесения покрытий, так и после жаростойких испытаний. Исследование ТКЛР не проводилось для данных составов в связи с несохранением стабильности фаз;

– для одного из составов порошков на основе оксидов циркония и алюминия первоначально использовали муллит в качестве подложки, но в связи с отслоением покрытия при нагреве вернулись к ранее выбранным в качестве подложки сплавом Х20Н80, а в связи с измерением адгезии на Х20Н80 и ВТ6, перешли на ВТ6 в связи с лучшими полученными результатами. Влияние подложки для данных составов не оценивалось. Для дисиликата иттербия использовали первоначально ситалл, который близок по ТКЛР, и Х20Н80 для исследования влияния на структуру и фазовый состав покрытия, которые показали лучшие результаты на ситалле. Применение ВТ6 обусловлено оценкой изменений химического и фазового состава, в связи с упоминанием в большинстве литературных источников о проявлении фазы моносиликата иттербия в процессе напыления, который близок по ТКЛР к ВТ6. В результате напыления при разных режимах данной фазы не обнаружилось. Отчасти в данной работе велся подбор подложки.

