

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ

Диссертационный совет: 24.2.327.04 (Д 212.125.15)

Соискатель: Савушкина Светлана Вячеславовна

Тема диссертации: «Механизмы формирования и свойства коррозионностойких и теплозащитных покрытий на основе оксидов циркония, гафния и алюминия, получаемых в плазменных процессах синтеза в вакууме и электролитах» выполнена на кафедре «Технология производства двигателей летательных аппаратов» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

Специальность: 2.6.5. «Порошковая металлургия и композиционные материалы»

Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации: на заседании 08 декабря 2022 года, протокол № 186/22, 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 **Савушкиной Светлане Вячеславовне** ученую степень доктора технических наук

Присутствовали:

Мамонов А.М. – председатель диссертационного совета;

Скворцова С.В. – ученый секретарь диссертационного совета;

Члены диссертационного совета:

Абраимов Н.В., Бабаевский П.Г., Бецофен С.Я., Бухаров С.В., Егорова Ю.Б., Жуков А.А., Коллеров М.Ю., Костина М.В., Крит Б.Л., Лозован А.А., Моисеев В.С., Никитина Е.В., Ракоч А.Г., Серов М.М., Слепцов В.В., Терентьева В.С., Шефтель Е.Н., Шляпин С.Д., Шляпин А.Д., Эпельфельд А.В.

Ученый секретарь
диссертационного совета

С.В. Скворцова

ЗАКЛЮЧЕНИЕ
ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.327.04,
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 ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 08 декабря 2022 года № 186/22

О присуждении Савушкиной Светлане Вячеславовне, гражданке Российской Федерации, ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «Механизмы формирования и свойства коррозионностойких и теплозащитных покрытий на основе оксидов циркония, гафния и алюминия, получаемых в плазменных процессах синтеза в вакууме и электролитах» по специальности 2.6.5. «Порошковая металлургия и композиционные материалы» принята к защите 30 августа 2022 г., протокол № 170/22 диссертационным советом 24.2.327.04, 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 № 692/нк от 18.11.2020 г.

Соискатель Савушкина Светлана Вячеславовна, 02 октября 1985 года рождения, в 2008 году закончила федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «МАТИ – Российский государственный технологический университет имени К.Э. Циолковского».

Диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук «Разработка и исследование диоксид циркониевых покрытий для теплонапряженных узлов изделий авиационной и ракетно-космической

техники» защитила в 2013 году в диссертационном совете Д 212.110.04, созданном на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «МАТИ – Российский государственный технологический университет имени К.Э. Циолковского», работает доцентом кафедры «Технология производства двигателей летательных аппаратов» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре «Технология производства двигателей летательных аппаратов» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный консультант – доктор физико-математических наук Борисов Анатолий Михайлович, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», кафедра «Технологии производства приборов и информационных систем управления летательных аппаратов», профессор.

Официальные оппоненты:

Парфенов Евгений Владимирович, доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский университет науки и технологий», кафедра материаловедения и физики металлов, заведующий кафедрой;

Дьяков Илья Геннадьевич, доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Костромской государственной университет», кафедра общей и теоретической физики, профессор;

Никитенков Николай Николаевич, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный

исследовательский Томский политехнический университет», отделение экспериментальной физики Инженерной школы ядерных технологий, профессор

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский политехнический университет», г. Москва, в своем положительном отзыве, подписанном заведующим кафедры «Материаловедение», доктором технических наук Овчинниковым В.В. и утвержденном проректором по научной работе, кандидатом технических наук Наливайко А.Ю., указала, что по научному уровню, полученным результатам, содержанию и оформлению диссертационная работа соответствует требованиям п.п. 9 – 14 Положения о присуждении учёных степеней в редакции Постановления Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.5. «Порошковая металлургия и композиционные материалы».

Соискатель имеет 97 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 97 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 33 работы.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Savushkina, S. Formation and investigation of nanocomposite gradient coating with upper layer of hafnia/ S. Savushkina, M. Polyansky, E. Vysotina, A. Ashmarin, N. Tkachenko// Surface and Coatings Technology - 2019. - №361. P. 212–221 – ISSN: 0257-8972.
2. Apelfeld, A. V. Formation of zirconia tetragonal phase by plasma electrolytic oxidation of zirconium alloy in electrolyte comprising additives of yttria nanopowder/ A. V. Apelfeld, A.A. Ashmarin, A. M. Borisov, A. V. Vinogradov, S. V. Savushkina, E.A. Shmytkova// Surface and Coatings Technology - 2017. - №328. P. 513-517 – ISSN: 0257-8972.
3. Savushkina, S. Study of Coatings Formed on Zirconium Alloy by Plasma Electrolytic Oxidation in Electrolyte with Submicron Yttria Powder Additives/ S. Savushkina, M. Gerasimov, A. Apelfeld, I. Suminov// Metals - 2021. - №11. P.

1392 – ISSN: 2075-4701.

4. Agureev, L. Study of Plasma Electrolytic Oxidation Coatings on Aluminum Composites/ L. Agureev, S. Savushkina, A. Ashmarin, A. Borisov, A. Apelfeld, K. Anikin, N. Tkachenko, M. Gerasimov, A. Shcherbakov, V. Ignatenko, N. Bogdashkina// Metals – 2018. - №8. P. 459 – ISSN: 2075-4701.
5. Савушкина, С.В. Методы создания теплозащитных покрытий на основе оксидов циркония и гафния/ С.В. Савушкина// Приборы - 2017. - № 12 (210). С. 56-63 – ISSN: 2071-7865.
6. Полянский, М.Н. Продольное послойное наноструктурирование теплозащитных покрытий из диоксида циркония при плазменном напылении/ М.Н. Полянский, С.В. Савушкина //Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования - 2014. - №2. С. 53-57 – ISSN: 1028-0960.
7. Савушкина, С. В. Плазменное напыление наноструктурного покрытия на основе оксида гафния с использованием течения Прандтля–Майера / С. В. Савушкина, М. Н. Полянский, Г. В. Панасова// Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования – 2018. - № 10. С. 45–51. – ISSN: 1028-0960.

На автореферат поступило 12 отзывов: от ФГАОУ ВО Южно-Уральского государственного университета за подписью профессора, старшего научного сотрудника лаборатории роста кристаллов д.ф.-м.н. Песина Л.А.; от ФГБОУ ВО Национального исследовательского университета «МЭИ» за подписью профессора кафедры Общей Физики и Ядерного Синтеза, д.ф.-м.н. Афанасьева В. П.; от ФГБУН Института химии растворов им. Г.А. Крестова РАН за подписью главного научного сотрудника лаборатории «Новые материалы на основе макроциклических соединений», д.х.н. Парфенюка В. И.; ФГБОУ ВО Московского государственного технологического университета "СТАНКИН" за подписью профессора кафедры «Высокоэффективные технологии обработки», д.т.н., Мигранова М. Ш.; от Научно-исследовательского института ядерной физики имени Д.В. Скобельцына ФГБОУ «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» за подписью заведующего отделом физики атомного ядра, д.ф.-м.н. Чеченина Н.Г.; от ФГБОУ ВО Тольяттинского

государственного университета за подписями главного научного сотрудника НИИ прогрессивных технологий, ректора, д.ф.-м.н. Криштала М. М. и ведущего научного сотрудника НИО-4 «Оксидные слои, пленки и покрытия», к.т.н., Полунина А.В.; от ФГБУН Института физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук за подписью заместителя директора института по научной работе, к.ф.-м.н. Залавутдинова Р. Х.; от ФГАОУ ВО Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» за подписью профессора кафедры «Физика плазмы», д.ф.-м.н. Беграмбекова Л. Б.; от ФГБУН Института металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН за подписью заведующего лабораторией физикохимии и технологии покрытий, д.т.н. Калиты В. И.; от АО Национального института авиационных технологий за подписью заместителя генерального директора по научно-исследовательской деятельности, к.т.н. Коваленко А.В.; от ФГБУН Института проблем машиноведения РАН за подписью главного научного сотрудника лаборатории модифицирования поверхностей материалов, д.т.н. Кузнецова В.Г.; от ФГБОУ ВО Рязанского государственного университета имени С.А. Есенина за подписью профессора кафедры «Общей и теоретической физики», д.т.н. Мооса Е. Н.

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

- из текста автореферата не совсем ясна необходимость конструкции с двумя сечениями разворота насадки, которой оснащено сопло для получения наноструктурного покрытия.

- из материалов автореферата не понятно: участвуют электролиты в плазмохимических реакциях или нет.

- Проводились ли сравнительные исследования коррозионной стойкости модифицированных оксидными покрытиями алюминиевых спеченных сплавов и компактных сплавов?

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:

предложен механизм инкорпорирования наночастиц Y_2O_3 в формируемый оксидный слой при плазменном электролитическом оксидировании циркониевого сплава, заключающийся в их попадании в зоны действия микроразрядов со стороны электролита, а субмикронных частиц – со стороны поверхностного слоя, обогащенного оксидом иттрия. Избыточная часть наночастиц Y_2O_3 не участвует в процессе формирования твердого раствора $ZrO_2-Y_2O_3$ и остается в покрытиях в виде включений. Эффект увеличения содержания $t-ZrO_2$ усиливается с ростом толщины покрытия и концентрации нанопорошка оксида иттрия в электролите;

доказано наличие структурно-наследственной связи «спеченный сплав-покрытие» при формировании коррозионностойкого покрытия плазменным электролитическим оксидированием композиционных материалов на основе алюминия, заключающейся в замедлении роста напряжения на начальном этапе ПЭО, более позднем формировании $\alpha-Al_2O_3$, наличии градиентной структуры покрытий с металло-керамическими слоями;

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана возможность формирования коррозионностойких плазменно-электролитических покрытий на циркониевом сплаве, преимущественно состоящих из твердого раствора $ZrO_2-Y_2O_3$ с t' фазой;

Применительно к проблематике диссертации результативно использован комплекс существующих базовых методов исследования, в том числе методов электронной микроскопии, рентгеноструктурного анализа, а также специальные экспериментальные методики анализа термоциклической стойкости и общей пористости с использованием спектрометрии ядерного обратного рассеяния протонов;

изложены результаты исследований по влиянию содержания легирующих добавок - меди и циркония на процесс плазменного электролитического оксидирования алюминиевого композиционного материала, заключающиеся в

изменении скорости роста оксидного слоя, структурной неоднородности и толщины покрытия;

изучено влияние добавления композитных слоев $ZrO_2-7\%Y_2O_3+NiCoCrAlY$ и $ZrO_2-7\%Y_2O_3+HfO_2-9\%Y_2O_3$ в трехслойное теплозащитное покрытие $NiCoCrAlY/ZrO_2-7\%Y_2O_3/HfO_2-9\%Y_2O_3$ для создания градиентной структуры, обеспечивающей снижение термических напряжений, большую стойкость при механических воздействиях и термоциклических нагрузках.

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

разработана и использована в АО ГНЦ «Центр Келдыша» технология плазменного напыления в вакууме, позволяющая наносить теплозащитные покрытия из высокотемпературных оксидов на тонкостенные элементы изделий ракетно-космической техники для предотвращения их перегрева в разреженной среде;

разработаны режимы получения коррозионностойких ПЭО-покрытий на циркониевом сплаве Э110, обеспечивающие стабилизацию высокотемпературных фаз в оксидном покрытии, и на алюминиевых композиционных материалах, легированных медью и цирконием;

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что:

результаты получены с использованием современного сертифицированного экспериментального и аналитического оборудования, показана воспроизводимость результатов исследований, обработка результатов проводилась с использованием методов математической статистики;

диссертационная работа основана на анализе экспериментальных данных и обобщении передового опыта регулирования структуры и свойств плазменных и плазменно-электролитических покрытий.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии в формировании цели и задач исследования, 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 во внедрении результатов исследования.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

– Когда вы приводите состав покрытия, это тот состав, который вы вкладываете в методику, чтобы получить покрытие или это полученный состав в результате анализа покрытия?

– Где доказательства, что с таким периодом решетки у вас образовался твердый раствор?

– Зачем над связующим слоем вы добавляли еще один металлокерамический переходный слой?

Соискатель Савушкина С.В. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию:

– Для формирования тетрагональной модификации оксида циркония требуется получить определенное содержание оксида иттрия в твердом растворе. С использованием этих данных проводилась подготовка электролитов-суспензий с требуемой концентрацией наночастиц для плазменного электролитического оксидирования,


– Покрытие не полностью состоит из твердого раствора тройной системы. Присутствуют тетрагональная модификация оксида циркония и кубическая модификация оксида гафния. В результате напыления происходит формирование твердого раствора тройной системы в локальных областях покрытия. Вывод о его наличии был сделан по результатам нескольких методов исследований. Это подтверждает и смещение линии на спектре рентгеновской дифракции влево, как это и было получено в схожих работах других авторов, улучшение термической стабильности по сравнению с оксидами циркония и гафния, распределение элементов по поверхности, показывающее преобладание областей смешенного состава, а также по расчету конфигурационной энтропии.

- В структуру покрытия был добавлен металлокерамический слой для уменьшения термических напряжений, связанных с разницей в тепловом расширении верхних керамических и нижних металлических слоев, что было сделано по результатам испытаний трехслойного теплозащитного покрытия и расчетам возникающих термических напряжений.

На заседании 08 декабря 2022 года диссертационный совет принял решение за новые научно-обоснованные технические и технологические решения по нанесению коррозионностойких и теплозащитных покрытий на основе высокотемпературных оксидов плазменными методами в вакууме и электролитах, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие направления порошковой металлургии и композиционных материалов и страны в целом, присудить Савушкиной Светлане Вячеславовне ученую степень доктора технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 22 человек, из них 8 докторов наук по специальности 2.6.5. «Порошковая металлургия и композиционные материалы», участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за - 22, против - нет, недействительных бюллетеней - нет.

Председатель
диссертационного совета  Мамонов Андрей Михайлович

Ученый секретарь
диссертационного совета  Скворцова Светлана Владимировна

08 декабря 2022 года

Начальник отдела УДС МАИ

Т.А. Анчикина

