



**МОСКОВСКИЙ
ПОЛИТЕХ**

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Московский политехнический университет»
(Московский Политех)

Б. Семеновская ул., д.38, Москва, 107023
Тел.+7 495 223 05 23, Факс +7 499 785 62 24
www.mospolytech.ru | E-mail: mospolytech@mospolytech.ru
ОКПО 04350607, ОГРН 1167746817810,
ИНН/КПП 7719455553/771901001

В диссертационный совет 24.2.327.04 на
базе ФГБОУ ВО «Московский
авиационный институт (национальный
исследовательский университет)»
125993, Москва, Волоколамское ш., д.4

№ _____

на _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе

Наливайко А.Ю.



« 15 » 10 2022 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский политехнический университет» на диссертационную работу Савушкиной Светланы Вячеславовны «Механизмы формирования и свойства коррозионностойких и теплозащитных покрытий на основе оксидов циркония, гафния и алюминия, получаемых в плазменных процессах синтеза в вакууме и электролитах», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.5 – Порошковая металлургия и композиционные материалы.

Актуальность темы. Диссертационная работа Савушкиной С.В. посвящена актуальным исследованиям механизмов и технологических подходов получения защитных оксидных слоев для решения задач увеличения коррозионной стойкости и теплостойкости материалов, применяемых для изготовления ответственных элементов конструкций авиакосмического назначения и атомной энергетики. Камеры сгорания перспективных жидкостных ракетных двигателей должны выдерживать повышенные тепловые нагрузки, что требует увеличения рабочей температуры теплозащитного покрытия. При изготовлении деталей и конструкций

из алюмоматричных дисперсионно-упрочненных композиционных материалов, в том числе ответственных деталей авиационного назначения, возникает задача улучшения их работоспособности изготовлением защитных оксидных покрытий. Мировой опыт эксплуатации циркониевых оболочек ТВЭЛов в атомной энергетике определил важность такого конструктивно-технологического решения, как нанесение коррозионностойкого покрытия, позволяющего усилить безопасность эксплуатации реакторных установок. Применяемые в работе технологии современны и разнообразны. Диссертант использовала для получения защитных покрытий плазменные технологии нанесения в электролитах и вакууме, провела анализ механизмов их нанесения и предложила технологические решения получения композитных слоев с улучшенными функциональными характеристиками. Предложенные покрытия с оксидом гафния выглядят перспективно в части увеличения рабочей температуры теплонапряженных узлов ракетно-космической и авиационной техники. Кроме того, в связи с развитием аддитивных технологий, актуальны проведенные диссертантом исследования структурно-наследственной связи порошковый сплав – оксидное покрытие, полученное плазменным электролитическим оксидированием.

Общая характеристика работы. Диссертация включает семь тематически связанных разделов, первый из которых представляет достаточно широкий обзор по перспективным высокотемпературным оксидным системам и методам получения на их основе защитных покрытий, в нем также дается обоснование применения плазменных технологий для решения поставленных задач. Во втором разделе приводятся характеристики режимов и разработанные конструктивно-технологические решения по нанесению покрытий. В разделах 3, 4, 5 рассмотрены основные найденные при металлографических, рентгенофазовых и спектроскопических исследованиях закономерности структуры коррозионностойких покрытий из оксидов циркония и алюминия, механизмы осаждения мелкодисперсных частиц из электролита в процессе синтеза и структурно-наследственной связи алюмоматричного композита и оксидного покрытия. Приведены результаты улучшения структуры и свойств оксидного покрытия на сплаве Э110 за счет получения нетрансформируемой тетрагональной фазы, что существенно повышает качество поверхностного слоя. Разделы 6 и 7 посвящены совершенствованию технологии плазменного напыления для получения композитных теплозащитных покрытий. Для нанесения нано композитного поверхностного слоя из оксидов циркония и гафния применено такое конструктивно-технологическое решение, как установка разворачивающего насадка сверхзвукового сопла при плазменном напылении в вакууме.

Достоинством работы диссертанта является широкий спектр использованных методик исследований, включающий современные методы микроскопии и спектроскопии, взаимодополняющие друг друга и подтверждающие достоверность полученных результатов. Интерес представляет применение спектрометрии ядерного обратного рассеяния для неразрушающего послойного исследования покрытий.

Научная новизна. Наиболее научно значимыми и новыми результатами работы являются следующие. Диссертант предложила использовать течение Прандтля-Майера при плазменном напылении для получения теплозащитного нанокompозитного покрытия на сплав БрХ, что увеличивает возможные тепловые нагрузки покрытия. Диссертантом разработаны научные подходы получения в плазменном покрытии средне энтропийных областей $ZrO_2-Y_2O_3-HfO_2$, что обеспечивает улучшение термической стабильности ТЗП. Диссертантом найден эффект влияния легирования циркония ниобием в сплаве Э110 на процесс роста коррозионностойкого оксидного покрытия при плазменном электролитическом оксидировании, заключающийся в его ускорении. В диссертационной работе выявлены различные механизмы осаждения наночастиц и субмикронных частиц из электролита при синтезе оксидного покрытия плазменным электролитическим оксидированием, что позволяет регулировать состав покрытия по толщине, получать твердые растворы оксидов, что улучшает механические свойства коррозионностойкого покрытия. Диссертант выявила такие особенности структурно-наследственной связи «алюмоматричный композит–оксидное покрытие» при получении коррозионностойкого покрытия плазменным электролитическим оксидированием, как наличие металлооксидных слоев, влияние медьсодержащих фаз, пор, оксидных пленок, замедляющие процесс роста покрытия.

Практическая значимость работы. Установленные в диссертационной работе закономерности и механизмы расширяют технологические возможности при создании новых коррозионностойких и теплозащитных слоев с необходимыми функциональными свойствами, расширяют температурный диапазон их работы и могут служить базовой основой для создания технологий их нанесения на детали авиационной, ракетно-космической техники, машиностроения. Полученные научные результаты использованы и апробированы при выполнении НИР в АО ГНЦ «Центр Келдыша» и НПО «Энергомаш», что подтверждается актами в Приложении диссертационной работы. Получены патенты РФ на изобретения. Названные результаты также использованы при чтении соответствующих дисциплин в МАИ (НИУ).

Достоверность полученных результатов подтверждает использование надежных и независимых методов исследования, таких как электронная микроскопия, рентгеновский микроанализ, рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия, рентгеновский структурный анализ, спектрометрия ядерного обратного рассеяния, термический анализ и многих других, и согласование полученных результатов с данными из литературных источников, полученными при сопоставимых условиях, а также привлечением проверенных теоретических моделей и механизмов процессов.

Замечания по диссертационной работе

1. В диссертационной работе подробно описан и использован метод определения общей пористости покрытий с помощью спектрометрии ЯОР. Вместе с тем, на рис. 3.3 приведены оценки сквозной пористости покрытий, методика измерения которой не совсем ясна.

2. В подписях к рис. 4.17 и 4.18, на которых приведены поляризационные кривые оксидных покрытий на сплаве Э110, указаны параметры режимов плазменной электролитической обработки, но не совсем ясно для покрытий с каким типом мелкодисперсных добавок Y_2O_3 они получены.

3. Не достаточно подробно указаны характеристики порошков, используемых при плазменном напылении.

4. На спектрах ядерного обратного рассеяния на рис. 7.8 отсутствует обозначение центрального интенсивного пика, соответствующего ~ 190 каналу.

5. Имеются некоторые недостатки в оформлении. В частности, на рисунках 3.3, 3.4, 3.9 присутствуют иностранные обозначения осей координат, перевод которых следовало бы предоставить в описаниях к рисункам.

Перечисленные замечания не снижают общей высокой оценки данной работы, выполненной на высоком научном и методическом уровне.

Рекомендации по использованию результатов диссертационной работы.

Результаты диссертационной работы рекомендуется использовать при исследовании и разработке коррозионностойких и теплозащитных покрытий, проводимых в НПО «Энергомаш», АО «Композит», АО ГНЦ «Центр Келдыша», ГНЦ ФГУП «ВИАМ», МАИ (НИУ), НПО им. С.А. Лавочкина, и других организациях авиационной и ракетно-космической промышленности, а также организациях, развивающих технологию плазменного электролитического оксидирования.

Заключение

В целом представленная диссертационная работа выполнена на высоком научно-техническом уровне, является самостоятельной законченной научно-

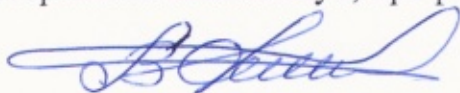
квалификационной работой, в которой изложены научно обоснованные технические и технологические решения по режимам плазменного электролитического оксидирования для создания коррозионностойких покрытий циркониевых сплавов и алюмоматричных материалов, применяемых для изготовления ответственных элементов конструкций авиакосмического назначения и атомной энергетики, плазменного напыления для получения теплозащитных покрытий для камер сгорания перспективных ракетных двигателей, разработаны и апробированы методики оценки функциональных свойств покрытий с использованием плазменных и ядерно-физических методов.

Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли апробацию на 57 научно-технических конференциях, опубликованы в 97 печатных работах, в том числе в 33 публикациях в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК и индексируемых в WoS и Scopus, 7 патентах на изобретение. Автореферат полностью отражает 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 соискатель является сложившимся научным исследователем и заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 2.6.5 – Порошковая металлургия и композиционные материалы.

Отзыв рассмотрен на заседании кафедры «Материаловедение», протокол №3 от «13» октября 2022 года. На заседании присутствовало 14 членов из 16 по списочному составу Результаты голосования: «за» – 14, «против» – нет, воздержавшихся – нет.

Заведующий кафедрой "Материаловедение",
доктор технических наук, профессор



Овчинников Виктор Васильевич

подпись Овчинникова В.В. заверяю

Ведущий документовед
Е. В. Алексеева

