

«УТВЕРЖДАЮ»



Генеральный директор  
НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ  
Яковлев Сергей Викторович

12 2025 г.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский  
научно-исследовательский институт авиационных материалов»  
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»

Диссертация Закировой Лилии Ильдусовны на тему «Особенности формирования гальванотермического покрытия системы цинк-олово с высокой защитной способностью на деталях из углеродистых сталей» выполнена в лаборатории № 607 «Коррозия и защита металлических материалов» научно-исследовательского отделения «Титановые, магниевые, бериллиевые и алюминиевые сплавы» федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ).

В период подготовки диссертации соискатель Закирова Лилия Ильдусовна работала в федеральном государственном унитарном предприятии «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ) в должности техника 2 категории, инженера, инженера 2 категории, инженера 1 категории лаборатории № 607 «Коррозия и защита металлических материалов».

Закирова Лилия Ильдусовна, 1978 года рождения, в 2006 году окончила государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный вечерний металлургический институт» по специальности «Металловедение и термическая обработка металлов». В 2024 году окончила аспирантуру федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» по научной специальности 2.6.17. – Материаловедение (технические науки).

Научный руководитель – Лаптев Анатолий Борисович, доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник лаборатории «Климатические, микробиологические исследования и пожаробезопасность материалов» НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ.

По итогам обсуждения принято следующее **заключение:**

**Оценка выполненной соискателем работы.** Область диссертационного исследования Закировой Лилии Ильдусовны включает экспериментальные исследования влияния режима термической обработки на кинетику диффузии и фазообразования в системе цинк-олово-железо многослойного гальванотермического покрытия системы цинк-олово, наносимого электрохимически на поверхность углеродистой стали 30ХГСА.

Установлено, что двухступенчатый режим термообработки (150°C, 2 ч + 210°C, 4 ч) позволяет объединить два процесса: упрочнение покрытия и начало диффузии без разрушения слоистой структуры на первой ступени термообработки ниже температуры эвтектики Sn-Zn. Формирование диффузионного слоя на границе со сталью толщиной около 2 мкм и образование объемной эвтектической матрицы с включениями фаз заэвтектического состава на второй ступени термообработки выше температуры эвтектики Sn-Zn.

Выявлен механизм защитного действия гальванотермического покрытия системы цинк-олово, заключающийся в анодном характере защиты и

управляемом коррозионном поведении: продукты коррозии цинка в составе эвтектики уплотняют покрытие в глубине, что повышает его барьерные свойства, обеспечивая рекордную долговечность.

Установлена причинно-следственная связь между режимом термообработки, формированием гетерофазной структуры (эвтектика + фазы на основе цинка и олова) и коррозионной стойкостью стальных образцов.

Важным практическим результатом является разработка технологии нанесения и формирования гальванотермического покрытия, которая позволяет получить покрытие сопоставимое по защитной способности в среде хлоридов с кадмиевым покрытием. Разработана технологическая рекомендация и внедрена на предприятиях: ПАО «Туполев» и АО «ОДК-Климов».

**Личное участие соискателя в получении результатов**, изложенных в диссертации, заключается в научном обосновании и постановке задач исследований, разработке приемов и методик экспериментальных исследований в части влияния режима термической обработки на структуру, рельеф и коррозионную стойкость и защитную способность гальванотермического покрытия системы цинк-олово, влияния технологических режимов формирования покрытия на механические и функциональные характеристики (адгезия, коэффициент трения, износа, защитная способность, электрохимические свойства), оформлении результатов в виде научных публикаций, докладов и патентов.

#### **Степень достоверности результатов проведенных исследований:**

Достоверность и обоснованность полученных результатов и выводов в диссертационной работе обеспечена с использованием аттестованного оборудования, с применением методов исследований и испытаний соответствующих требованиям Российских и международных стандартов.

#### **Новизна результатов проведенных исследований:**

1. Впервые установлено, что двухступенчатый режим ТО (150°C, 2 ч + 210°C, 4 ч) позволяет совместить два ключевых процесса: на первой ступени (ниже температуры эвтектики Sn-Zn) происходит упрочнение покрытия и

начальная диффузия без разрушения слоистой структуры. На второй ступени (выше температуры эвтектики) целенаправленно формируется диффузионный слой на границе со сталью толщиной около 2 мкм и создается объемная эвтектическая матрица с включениями фаз заэвтектического состава, что принципиально отличает разработанное покрытие от аналогов.

2. Выявлен механизм защитного действия, заключающийся в анодном характере защиты и управляемом коррозионном поведении: продукты коррозии цинка в составе эвтектики уплотняют покрытие в глубине, что не только не ослабляет его, но и повышает барьерные свойства, обеспечивая рекордную долговечность.

3. Установлена причинно-следственная связь между режимом ТО, формированием гетерофазной структуры (эвтектика + фазы на основе цинка и олова) и коррозионной стойкостью стальных образцов.

#### **Практическая значимость проведенных исследований:**

– Впервые предложена замена токсичного кадмиевого покрытия для защиты стали 30ХГСА от коррозии в среде хлоридов гальванотермическим покрытием системы «цинк-олово», которое по **защитной способности**, а также коэффициенту трения, износу контртела, величине крутящего момента при откручивании гаек **сопоставимо с кадмиевым покрытием** той же толщины.

– Разработана технология нанесения гальванотермического покрытия: механическая подготовка - обезжиривание - активация (ингибированный раствор соляной кислоты) - цинкование - оловянирование - цинкование - термообработка (двухступенчатая) - дополнительная обработка (хроматная пассивация).

– Исследованиями показано, что гальванотермическое покрытие системы цинк-олово Ц4. О4. Ц2. т. хр. при двухступенчатой ТО 150°С, 2 ч +210°С, 4 ч обеспечивает высокий уровень защитной способности (более 26000 ч в камере соляного тумана, в том числе около 2-х лет (19000 ч) с надрезом до стальной основы), имеет анодный характер защитного действия.

– Получен патент РФ № 2606364 «Способ получения защитного покрытия».

– Разработана технологическая рекомендация ТР 1.2.2449-2015 «Нанесение гальванотермического покрытия на детали из углеродистых сталей» и внедрена на предприятиях: ПАО «Туполев» и АО «ОДК-Климов» (ЛД №.693-19-26 от 16.07.2019 г., № 846-21-28 от 13.10.2019 г.).

Разработанная в результате выполнения диссертационной работы технология нанесения внедрена в опытно-промышленное производство НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ и серийное производство ПАО «Туполев» и АО «ОДК-Климов».

Для нормативного обеспечения производства разработана: 1 технологическая рекомендация (ТР).

**Ценность научных работ соискателя** заключается в том, что установлена причинно-следственная связь между режимом термообработки, формированием гетерофазной структуры (эвтектика + фазы на основе цинка и олова) и коррозионной стойкостью стальных образцов.

**Соответствие пунктам паспорта научной специальности.** Тема и содержание работы соответствует следующим пунктам паспорта научной специальности 2.6.17. Материаловедение:

П 10. Разработка способов повышения коррозионной стойкости металлических, неметаллических и композиционных материалов в различных условиях эксплуатации.

П 11. Разработка функциональных покрытий различного назначения и методов управления их свойствами и качеством.

П 12. Разработка физико-химических процессов получения функциональных покрытий на основе новых металлических, неметаллических и композиционных материалов. Установление закономерностей влияния состава, структуры, технологии, а также эксплуатационных и других факторов на свойства функциональных покрытий.

**Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем:**

Основные результаты диссертационной работы Закировой Л. И. опубликованы в 17 научных работах в рецензируемых журналах, из которых 8 включены в перечень ВАК при Минобрнауки России, 2 включены в международные базы данных Scopus и Web of Science, отражающих основное содержание работы. Получен 1 патент Российской Федерации.

*Список основных трудов по теме диссертации опубликованных в изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России:*

1. Виноградов С. С., Никифоров А. А., Закирова Л. И. Замена кадмия. Этап 2 – заключительный. Гальванотермическое покрытие системы «цинк-олово» - реальная альтернатива кадмиевому покрытию // *Авиационные материалы и технологии.* – 2019. – № 3. – С. 59-66. – DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-3-59-66;

2. Закирова Л. И., Лаптев А. Б. Свойства защитных гальванических покрытий для замены кадмия на стальных крепежных деталях (обзор). Часть 1. Морфология и коррозионная стойкость // *Авиационные материалы и технологии.* – 2020. – № 3. – С. 37-46. – DOI: 10.18577/2071-9140-2020-0-3-37-46;

3. Лаптев А. Б., Закирова Л. И., Деговец М. Л. Свойства защитных гальванических покрытий для замены кадмия на стальных крепежных деталях (обзор). Часть 2. Водородное охрупчивание и фрикционные характеристики // *Авиационные материалы и технологии.* – 2020. – № 4. – С. 35-40. – DOI: 10.18577/2071-9140-2020-0-4-35-40;

4. Закирова Л. И., Афанасьев-Ходыкин А. Н., Мовенко Д. А., Лаптев А. Б. Особенности формирования диффузионного слоя Sn-Zn-Fe на границе гальванотермического покрытия системы цинк-олово и стали 30ХГСА с высокой защитной способностью // *Авиационные материалы и технологии.* – 2022. – № 4 (69). – С. 61-71. – DOI: 10.18577/2713-0193-2022-0-4-61-71;

5. Лаптев А. Б., Закирова Л. И., Загорских О. А., Павлов М. Р. Методы исследования процессов коррозионно-механического разрушения и наводороживания металлов (обзор). Часть 1. Исследование коррозионно-механического разрушения сталей // Труды ВИАМ. – 2022. – № 4. – С. 118-130. – DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-4-118-130;

6. Закирова Л. И., Никифоров А. А., Болсуновская Т. А., Лаптев А. Б. Свойства гальванотермического покрытия системы цинк-олово на стали 30ХГСА и 30ХГСН2А. Водородное охрупчивание и фрикционные характеристики // Металлообработка. – 2023. – №1. – С. 33-46. – DOI: 10.25960/мо.2023.1.33.

7. Закирова Л. И., Сибилёва С. В., Демин С. А., Дуюнова В. А. Исследование гальванических покрытий коррозионностойких сталей для предотвращения контактной коррозии // Труды ВИАМ. – 2024. – № 9. – Ст. 05. – DOI: 10.18577/2307-6046-2024-0-9-42-53;

8. Закирова Л. И., Сибилёва С. В., Вдовин А. И., Кольцова М. А. Выбор гальванического покрытия коррозионностойких сталей с целью защиты от коррозии при контакте с алюминиевыми сплавами // Труды ВИАМ. – 2025. – № 9. – С. 63-76. – DOI: 10.18577/2307-6046-2025-0-9-63-76.

*Публикации, индексируемые базами Web of science и Scopus:*

1. Виноградов С. С., Никифоров А. А., Закирова Л. И., Вдовин А. И. Сравнительная оценка защитной способности гальванотермического покрытия системы цинк-олово и кадмиевого покрытия в среде хлоридов // Коррозия: материалы, защита. – 2020. – № 5. – С. 21-29. – DOI: 10.31044/1813-7016-2020-0-5-21-29;

2. Закирова Л. И., Афанасьев-Ходыкин А. Н., Мовенко Д. А., Лаптев А. Б. Особенности формирования гальванотермического покрытия системы цинк-олово с высокой защитной способностью на деталях из углеродистых сталей // Коррозия: материалы, защита. – 2021. – № 11. – С. 39-48. – DOI: 10.31044/1813-7016-2021-0-11-39-48.

*Патент Российской Федерации:*

1. Пат. РФ 2606364 МПК C25D 5/10. Способ получения защитного покрытия / Каблов Е. Н., Виноградов С. С., Никифоров А. А., Закирова Л. И. (Россия) // Заявл. 15.10.2015; Опубл. 10.01.2017 Бюл. №1.

**Апробация работы проведена на:**

– конференция памяти чл.-корр. Ю. М. Полукарова «Фундаментальные и прикладные вопросы электрохимического и химико-каталитического осаждения металлов и сплавов» Москва, 2017.

– IV Всероссийская научно-техническая конференция «Материалы и технологии нового поколения для перспективных изделий авиационной и космической техники» Москва, 2019.

– XII Всероссийская конференция по испытаниям и исследованиям свойств материалов «ТестМат» «Современные аспекты в области исследований структурно-фазовых превращений при создании материалов нового поколения» Москва, 2020.

– VI Всероссийская научно-техническая конференция «Климат-2021: современные подходы к оценке воздействия внешних факторов на материалы и сложные технические системы» Москва, 2021.

– III Международная научно-техническая конференция «Новые материалы и технологии глубокой переработки сырья – основа инновационного развития экономики России» Москва, 2022.

– VIII Всероссийская научно-техническая конференция «Климат-2023: современные подходы к оценке воздействия внешних факторов на материалы и сложные технические системы» Москва, 2023.

– X Всероссийская научно-техническая конференция «Климат-2025: современные подходы к оценке воздействия внешних факторов на материалы и сложные технические системы» Москва, 2025.

Текст диссертации был проверен на использование заимствованного материала без ссылки на авторов и источники заимствования. После исключения всех корректных совпадений иных заимствований не обнаружено.

Диссертационная работа Закировой Лилии Ильдусовны рекомендуется к публичной защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.6.17. Материаловедение.

Заключение принято на заседании научно-технического совета научно-исследовательского отделения «Титановые, магниевые, бериллиевые и алюминиевые сплавы».

Присутствовало на заседании – 33 человека, в том числе с правом голоса – 16, из них докторов наук – 3, кандидатов наук – 13.

Результаты голосования: «за» – 16, «против» – 0, «воздержались» – нет.  
Протокол № 54 от «04» декабря 2025 г.

Председательствующий на заседании:

Начальник НИО

«Титановые, магниевые, бериллиевые и  
алюминиевые сплавы» НИЦ

«Курчатовский институт» - ВИАМ,  
к.т.н.



Дуюнова

Виктория Александровна