

УТВЕРЖДАЮ

Ректор, профессор, доктор
химических наук ФГБОУ ВО
«РХТУ им. Д.И. Менделеева»

Филатов С.Н.

2026 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» на диссертационную работу Закировой Лилии Ильдусовны «Особенности формирования гальванотермического покрытия системы цинк-олово с высокой защитной способностью на деталях из углеродистых сталей», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.6.17 «Материаловедение».

Актуальность темы диссертационной работы

Проблема замены токсичных кадмиевых покрытий, используемых для защиты стальных деталей авиационной, космической и судостроительной техники во всеклиматических условиях, является одной из ключевых задач современного материаловедения. Несмотря на многочисленные попытки создания альтернативных систем на основе цинка, до настоящего времени не существует покрытия, сопоставимого с кадмием по защитной способности в среде хлоридов.

В связи с этим диссертационная работа Закировой Л.И., направленная на обоснование и создание высокоэффективного гальванотермического

покрытия (ГТП) системы цинк-олово, является безусловно актуальной и имеет важное народно-хозяйственное значение.

Научная новизна диссертационной работы

Наиболее существенными научными результатами, представленными в диссертации, следует считать:

1. Установление двухступенчатого режима термической обработки (150°C, 2 ч + 210°C, 4 ч), обеспечивающего синергетический эффект: упрочнение структуры и начальную диффузию на первой ступени и формирование диффузионного слоя Fe-Zn-Sn (~2 мкм) с объемной эвтектической матрицей на второй.

2. Выявление механизма защитного действия, заключающегося в анодной защите и самоуплотнении покрытия продуктами коррозии цинка в эвтектике, что обеспечивает рекордную долговечность.

Практическая значимость диссертационной работы

Разработанное ГТП системы цинк-олово (Ц4.О4.Ц2.т.хр) является реальной альтернативой кадмиевому покрытию. Ключевые практические достижения:

- Защитная способность в камере соляного тумана превышает 26 000 ч (более 3 лет), в том числе 19 000 ч с надрезом до стали, что сопоставимо с кадмиевым покрытием.

- Обеспечен анодный характер защиты (стационарный потенциал $-0,99 \pm 0,02$ В относительно х.с.э.), предотвращающий коррозию стали при повреждении покрытия.

- Разработана и внедрена на предприятиях (ПАО «Туполев», АО «ОДК-Климов») технологическая рекомендация ТР 1.2.2449-2015.

- Получен патент РФ № 2606364 на способ получения защитного покрытия.

Результаты работы могут быть использованы на любых предприятиях машиностроительного и авиастроительного профиля, где требуется замена кадмиевых покрытий на деталях из углеродистых сталей.

Структура диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов и списка литературы из 103 наименований. Общий объём – 130 страниц. Содержит 60 рисунков и 39 таблиц. Работа написана логично, материал изложен последовательно.

Введение содержит обоснование актуальности работы – необходимость создания относительно безопасной замены токсичному кадмиевому покрытию для углеродистых сталей, эксплуатируемых в хлоридсодержащих средах. Сформулированы цель, задачи, научная новизна, практическая значимость и основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена анализу литературных данных о существующих гальванических покрытиях (Zn, Cd, Zn-Ni, Zn-Sn, Zn-Co и др.). Показано, что известные аналоги не обеспечивают сопоставимой с кадмием защитной способности в среде хлоридов из-за трудности контроля состава сплавов и неоптимальных режимов термообработки. На основе обзора сформулированы цель и задачи исследования.

Вторая глава содержит описание материалов (сталь 30ХГСА), оборудования и аттестованных методик. Приведены методы гравиметрии, профилометрии, склерометрии, электрохимических исследований, ускоренных и натуральных коррозионных испытаний, а также методы оценки водородного охрупчивания, трения и страгивания резьбовых соединений.

Третья глава посвящена отработке технологии нанесения многослойного гальванотермического покрытия Zn-Sn. Выбраны оптимальные составы электролитов и режимы осаждения, обеспечивающие высокую адгезию (метод решётчатого надреза, ударный, скретч-тест) и

суммарную рассеивающую способность 47,5%. Представлена итоговая технологическая схема.

Четвертая глава – ключевая с точки зрения определения коррозионных свойств. Установлено, что определяющим фактором является двухступенчатая термическая обработка (150°C, 2 ч + 210°C, 4 ч), обеспечивающая формирование диффузионного слоя Fe-Zn-Sn (~2 мкм) и объёмной эвтектической матрицы. Показано, что разработанное ГТП с хроматированием по защитной способности в камере соляного тумана (более 26 000 ч) и в натуральных условиях (4,5 года в Геленджике, 7,5 лет в Москве) сопоставимо с кадмиевым покрытием, а по некоторым показателям превосходит его. Электрохимическими методами подтверждён анодный характер защиты.

Пятая глава посвящена влиянию технологии на механические свойства. Доказано, что ГТП не вызывает водородного охрупчивания стали 30ХГСА (образцы выдерживают испытания на ЗХР более 840 ч). Фрактографический анализ подтверждает вязкий характер разрушения. Трибологические испытания показали, что коэффициент трения ГТП (<0,5) сопоставим с кадмиевым, износ контртела минимален (15%). Момент страгивания болтов после коррозии не превышает допустимых значений.

Выводы обобщают основные результаты работы, подтверждая, что разработанное гальванотермическое покрытие системы цинк-олово является эффективной и экологически безопасной альтернативой кадмиевому покрытию.

Достоверность и обоснованность результатов

Достоверность полученных результатов не вызывает сомнений, так как они базируются на значительном объеме экспериментальных данных, полученных с использованием современных аттестованных методов исследования (электронная микроскопия, рентгеноструктурный анализ, электрохимические методы, стандартные и натурные коррозионные

испытания). Выводы работы логично следуют из представленных результатов и согласуются с фундаментальными принципами материаловедения.

Основные результаты доложены на авторитетных российских и международной конференциях и опубликованы в 17 рецензируемых научных изданиях, в том числе входящих в перечень ВАК и базы цитирования Scopus/WoS.

Основные замечания по работе

1. Отсутствие сравнительных испытаний с Zn-Ni покрытием в едином цикле. В работе приведены литературные данные по Zn-Ni, но собственных сравнительных испытаний ГТП и Zn-Ni покрытия, нанесённых в идентичных условиях на образцы из одной партии стали, не выполнено. Это затрудняет объективную оценку преимущества ГТП перед одним из наиболее распространённых коммерческих аналогов.

2. Недостаточная детализация методики расчёта коэффициентов диффузии. В разделе 4.5.1 для расчёта коэффициентов диффузии используется формула (12), но не указано, как именно определялся угол α наклона зависимости $\lg(C) = f(x^2)$. Отсутствуют значения коэффициентов корреляции. Кроме того, применение этой модели к системе с жидкой фазой требует оговорок.

3. Термин «гальванотермическое покрытие» (ГТП) — авторский. Не противоречит ли он существующему ГОСТ 9.306 (классификация гальванических покрытий)? Возможно, при последующей стандартизации стоит предложить уточнение «многослойное диффузионно-легированное покрытие».

4. Отсутствие методики оценки пористости покрытия

В работе неоднократно упоминается, что термообработка снижает пористость (стр. 50, 104), однако нет прямых количественных измерений

пористости (например, методом «кляссеров» или электрохимическим методом). Без этого трудно выделить вклад барьерных свойств от анодной защиты.

5. Отсутствие рекомендаций по контролю качества в производстве

Технологическая схема (стр. 67) приведена, но нет указаний на критические параметры процесса, которые должны контролироваться в обязательном порядке (например, точность поддержания температуры на второй ступени термической обработки (ТО), допустимый разброс толщины слоёв, периодичность анализа электролитов). Для внедрения на серийных предприятиях это необходимо.

Однако высказанные замечания не снижают ценности работы Закировой Лилии Ильдусовны «Особенности формирования гальванотермического покрытия системы цинк-олово с высокой защитной способностью на деталях из углеродистых сталей», которая соответствует специальности 2.6.17. «Материаловедение».

Заключение о соответствии диссертации требованиям ВАК

Диссертационная работа Закировой Лилии Ильдусовны «Особенности формирования гальванотермического покрытия системы цинк-олово с высокой защитной способностью на деталях из углеродистых сталей», содержит научную новизну и практическую значимость, соответствующую паспорту специальности 2.6.17. «Материаловедение» и охватывает следующие направления исследований, предусмотренные паспортом:

- разработка способов повышения коррозионной стойкости металлических, неметаллических и композиционных материалов в различных условиях эксплуатации;

- разработка функциональных покрытий различного назначения и методов управления их свойствами и качеством;

- 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.

Основные результаты диссертации 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 и 1 патенте.

Автореферат и опубликованные по теме диссертационного исследования работы полностью раскрывают ее основное содержание.

Диссертационная работа Закировой Лилии Ильдусовны является целостным, логически завершенным научно-квалификационным трудом, в котором на основании выполненных автором исследований решена актуальная научно-техническая проблема, имеющая важное хозяйственное значение – разработано и внедрено в опытно-промышленное производство и серийное производство гальванотермическое покрытие системы «цинк-олово» для защиты стали 30ХГСА от коррозии в среде хлоридов, которое по защитной способности превосходит существующие аналоги и сопоставимо с кадмиевым покрытием той же толщины.

По актуальности, уровню и объему проведенных исследований, глубине анализа, научной новизне и практической значимости диссертационная работа полностью соответствует требованиям пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г., предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а также паспорту научной специальности 2.6.17. – «Материаловедение».

Автор работы, **Закирова Лилия Ильдусовна**, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 – «Материаловедение».

Отзыв составлен коллективом кафедры, заведующим кафедрой профессором, доктором технических наук Ваграмяном Тиграном Ашотовичем.

Отзыв заслушан и одобрен на заседании кафедры «Инновационных материалов и защиты от коррозии» ФГБОУ ВО «РХТУ им. Д.И. Менделеева», Протокол № 10 от «14» мая 2026 года. На заседании присутствовало 21 членов кафедры, 19 преподавателей и 2 аспиранта. Результаты голосования «ЗА», единогласно.

Заведующий кафедрой
«Инновационных материалов
и защиты от коррозии»

Профессор, д.т.н. _____

Т.А. Ваграмян

Подпись удостоверяю: _____

Ученый секретарь

д.т.н., профессор _____

Н.А. Макаров

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» (ФГБОУ ВО «РХТУ имени Д.И. Менделеева»)

Адрес: 125047, г. Москва, Миусская пл., д. 9.

Тел.: +7 (495) 609-29-01

E-mail: inbox@muctr.ru

Сайт: www.muctr.ru