

«УТВЕРЖДАЮ»

проректор по науке и инновациям

РХТУ им. Д.И. Менделеева,

Е.В. Хайдуков



Хайдуков

2025 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация на тему: «Разработка технологического процесса электроосаждения сплава цинк-никель из щелочного электролита» по научной специальности 2.6.9 – Технология электрохимических процессов и защита от коррозии (технические науки) выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» на кафедре инновационных материалов и защиты от коррозии.

В процессе подготовки диссертации Шелухин Михаил Александрович, «24» февраля 1998 года рождения, был аспирантом кафедры инновационных материалов и защиты от коррозии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» с 01.09.2021 г. по 31.08.2025 г.

Справка о сдаче кандидатских экзаменов выдана в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» в 2025 году.

Научный руководитель – кандидат химических наук по специальности 05.17.03 – Технология электрохимических процессов и защита от коррозии, доцент, профессор кафедры инновационных материалов и защиты от коррозии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения

высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» Григорян Неля Сетраковна.

По результатам рассмотрения диссертации на тему: «Разработка технологического процесса электроосаждения сплава цинк-никель из щелочного электролита» принято следующее заключение.

Актуальность темы

Для защиты от коррозии стальных изделий широко используют гальванические цинковые покрытия, которые обладают высокой защитной способностью по отношению к стали и обеспечивают электрохимический характер ее защиты во влажной атмосфере. Это обусловлено более отрицательным потенциалом цинка по сравнению с железом. Однако вследствие высокого отрицательного потенциала цинковые покрытия характеризуются низкой коррозионной стойкостью и сами быстро разрушаются в коррозионных средах. Известно, что легирование цинковых покрытий металлами подгруппы железа (такими как Ni, Co) значительно повышает их коррозионную стойкость за счет смещения потенциала в более положительную область.

Наряду с этим покрытия сплавом цинк-никель, в сравнении цинковыми, обладают следующими преимуществами: не подвержены контактной коррозии при контакте с алюминиевыми сплавами; дольше сохраняют декоративный внешний вид; обладают более высокой термостойкостью.

Наиболее высокой коррозионной стойкостью и защитной способностью по отношению к стали обладают покрытия, содержащие от 12 до 14 %масс. никеля. При меньшем содержании никеля коррозионная стойкость покрытия ненамного выше, чем у цинкового, а при более высоком содержании никеля утрачивается электрохимический характер защиты стальной основы покрытием.

Многочисленные кислые электролиты для осаждения цинк-никелевых покрытий не нашли практического применения из-за сильной зависимости состава сплава от катодной плотности тока и низкой рассеивающей способности. Щелочные электролиты характеризуются высокой рассеивающей способностью

и постоянством состава сплава в широком диапазоне катодных плотностей тока, что особенно важно при их нанесении на сложнопрофилированные поверхности.

На промышленных предприятиях РФ до последнего времени применялись зарубежные технологии, поскольку отечественных технологий осаждения цинк-никелевых покрытий, удовлетворяющих современным требованиям по технологичности и функциональным характеристикам осаждающихся покрытий, не существует. В настоящее время в связи со сложившейся макроэкономической ситуацией возросла актуальность разработки импортозамещающей технологии электроосаждения защитно-декоративных цинк-никелевых покрытий, содержащих 12-14 % масс. никеля.

Научная новизна

1) Установлено, что введение в щелочной аминокинкатный электролит для осаждения сплава цинк-никель соединения из класса азотсодержащих полиалкиленгликолей (АС2) приводит к возрастанию содержания никеля в сплаве (с 6 до 13 % масс.) вследствие поляризации процесса осаждения цинка в сплав.

2) Показано, что введение в аминокинкатный электролит для электроосаждения сплава цинк-никель соединения, содержащего металлоид в неопредельной степени окисления (Б3), расширяет рабочий диапазон плотностей тока, в котором осаждаются покрытия сплавом цинк-никель с содержанием 12-14 % масс. никеля.

Теоретическая и практическая значимость

1) Теоретическая значимость работы заключается в установлении закономерностей процесса электроосаждения покрытий сплавом цинк-никель из щелочного электролита в присутствии аминосоединений.

2) Разработана импортозамещающая технология электроосаждения сплава цинк-никель, удовлетворяющая современным требованиям по равномерности химического состава и толщины покрытия на сложнопрофилированной поверхности, внешнему виду покрытий, коррозионной стойкости и защитной способности, а также ресурсу и стабильности электролита.

3) Разработан процесс бесхроматной пассивации электролитических

цинк-никелевых покрытий, осажденных из щелочного аминокцинкатного электролита.

Разработанная технология успешно протестирована на ООО «ПО «Металлист», АО «НИЦЭВТ», ООО ПК «НПП СЭМ.М» и рекомендуется к внедрению в промышленность.

Работа характеризуется логичностью построения, аргументированностью основных научных положений и выводов, а также четкостью изложения.

Основные положения диссертации получили полное отражение в трех статьях, опубликованных в рецензируемых журналах, из них две статьи в журнале, индексируемом в международных базах данных Web of Science и Scopus.

Результаты диссертации представлены на международных и всероссийских конференциях, в том числе на: Научно-практической конференции Российского химического общества им. Д.И. Менделеева «Трансформация традиционных технологий электрохимической и химической обработки поверхности» (г. Москва, 2020 г.); II Международной конференции, памяти чл.-корр. Ю.М. Полукарова «Фундаментальные и прикладные вопросы электрохимического и химико-каталитического осаждения и защиты металлов и сплавов» (г. Москва, 2020 г.); Международной научно-технической конференции молодых ученых «Инновационные материалы и технологии-2021» (г. Минск, 2021 г.); II-й Международной конференции «Актуальные вопросы электрохимии, экологии и защиты от коррозии» (г. Тамбов, 2021 г.); Международной научно-технической конференции «Современные электрохимические материалы и оборудование» (г. Минск, 2021 г.); XII и XIII Международных научных конференциях «Современные методы в теоретической и экспериментальной электрохимии» (г. Плөс, 2021 и 2022 гг.); XVIII Международном конгрессе молодых ученых по химии и химической технологии «МКХТ-2022» (г. Москва, 2022 г.); XXII Менделеевском съезде по общей и

прикладной химии (Федеральная территория «Сириус», 2024 г.); III Международной конференции, памяти чл.-корр. Ю.М. Полукарова «Фундаментальные и прикладные вопросы электрохимического и химико-каталитического осаждения и защиты металлов и сплавов» (г. Москва, 2024 г.).

Публикации в изданиях, индексируемых в международных базах данных:

1. Adudin I.A. A study of zinc–nickel alloy electrodeposition from an alkaline electrolyte / I.A. Adudin, N.S. Grigoryan, **M.A. Shelukhin** [et al.] // International Journal of Corrosion and Scale Inhibition. – 2021. – Vol. 10, No. 2. – P. 580–591. – DOI: 10.17675/2305-6894-2021-10-2-6. (**Scopus, Web of Science**).

2. **Shelukhin M.A.** Removal of heavy metal ions from zinc-nickel electrodeposition process dragout tank wastewater / **M.A. Shelukhin**, M.A. Podshibnev, N.S. Grigoryan [et al.] // International Journal of Corrosion and Scale Inhibition. – 2025. – Vol. 14, No. 2. – P. 460–468. – DOI: 10.17675/2305-6894-2025-14-2. (**Scopus, Web of Science**).

Публикации в рецензируемых изданиях:

1. **Шелухин М.А.** Электроосаждение сплава цинк-никель из щелочного аминосодержащего электролита / **М.А. Шелухин**, А.Р. Хохряков, М.А. Подшибнев [и др.] // Практика противокоррозионной защиты. – 2025. – Т. 30, № 2. – С. 40–55. – DOI 10.31615/j.corros.prot.2024.116.2-4. (**ВАК**).

Публичные доклады на всероссийских и международных научных мероприятиях (конференциях, съездах, симпозиумах, конгрессах):

1. Адудин И.А. Исследование электроосаждения сплава цинк-никель из щелочного раствора / И.А. Адудин, К.А. Орлова, **М.А. Шелухин** [и др.] // Фундаментальные и прикладные вопросы электрохимического и химико-каталитического осаждения и защиты металлов и сплавов: Тезисы докладов II Международной конференции, памяти чл.-корр. Ю.М. Полукарова, Москва, 15 – 16 октября 2020 года. – Москва: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук, 2020. – С 40.

2. **Шелухин М.А.** Исследование влияния концентрации лиганда в электролите на электроосаждение сплава цинк-никель / **М.А. Шелухин, И.А. Адудин, К.А. Орлова** [и др.] // Фундаментальные и прикладные вопросы электрохимического и химико-каталитического осаждения и защиты металлов и сплавов: Тезисы докладов II Международной конференции, памяти чл.-корр. Ю.М. Полукарова, Москва, 15 – 16 октября 2020 года. – Москва: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук, 2020. – С 112.
3. Адудин И.А. Исследование влияния блескообразующих добавок в щелочном электролите на характеристики покрытия сплавом цинк-никель / И.А. Адудин, К.А. Орлова, **М.А. Шелухин** [и др.] // Успехи в химии и химической технологии. – 2020. – Т. 34, № 12 (235). – С. 65-66.
4. Адудин И.А. Исследование процесса электроосаждения сплава цинк-никель из щелочного электролита / И.А. Адудин, К.А. Орлова, **М.А. Шелухин** [и др.] // Трансформация традиционных технологий электрохимической и химической обработки поверхности: Сборник материалов Научно-практической конференции Российского химического общества им. Д.И. Менделеева, Москва, 28 октября 2020 года / Под редакцией Е.Г. Винокурова. – Москва: Общероссийская общественная организация «Российское химическое общество им. Д.И. Менделеева». Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, 2020. – С. 84-87.
5. Адудин И.А. Исследование влияния концентрации аминоксодержащего лиганда в щелочном электролите на состав покрытия сплавом цинк-никель / И.А. Адудин, К.А. Орлова, **М.А. Шелухин** [и др.] // Инновационные материалы и технологии-2021: материалы Международной научно-технической конференции молодых ученых, Минск, 19 – 21 января 2021 года. – Минск: Белорусский государственный технологический университет, 2021. – С. 171-173.
6. Адудин И.А. Исследование влияния концентрации компонентов раствора на состав гальванического покрытия сплавом цинк-никель / И.А. Адудин, К.А. Орлова, **М.А. Шелухин** [и др.] // Успехи в химии и химической технологии. – 2021. – Т. 35, № 5 (240). – С. 12-13.

7. Адудин И.А. Исследование влияния концентрации ионов никеля в щелочном аминоксодержащем электролите на химический состав покрытия сплавом цинк-никель / И.А. Адудин, К.А. Орлова, **М.А. Шелухин**, Н.С. Григорян, Т.А. Ваграмян // «Актуальные вопросы электрохимии, экологии и защиты от коррозии»: материалы II-ой Международной конференции 27 – 29 октября 2021 года. – Тамбов, Изд-во ИП Чеснокова А.В., 2021. – 364 с. – С. 250-252.
8. Адудин И.А. Исследование влияния соотношения компонентов аминоксодержащего щелочного электролита на состав покрытия сплавом цинк-никель / И.А. Адудин, К.А. Орлова, **М.А. Шелухин** [и др.] // Современные электрохимические материалы и оборудование: материалы Международной научно-технической конференции, Минск, 18 – 20 мая 2021 года. – Минск: Белорусский государственный технологический университет, 2021. – С. 85-87.
9. Адудин И.А. Исследование влияния концентрации ионов никеля в щелочном электролите на состав покрытия сплавом цинк-никель / И.А. Адудин, К.А. Орлова, **М.А. Шелухин**, Н.С. Григорян, Т.А. Ваграмян // «Современные методы в теоретической и экспериментальной электрохимии», XII Международная научная конференция, г. Плес, Ивановская обл., 13 – 17 сентября 2021 г. Тезисы докладов. Иваново: Институт химии растворов им. Г.А. Крестова РАН, 2021. – 143 с. ISBN 978-5-905364-18-1. – С. 78.
10. Адудин И.А. Электроосаждение сплава цинк-никель из щелочного полилигандного электролита / И.А. Адудин, К.А. Орлова, **М.А. Шелухин**, Н.С. Григорян, Т.А. Ваграмян // «Современные методы в теоретической и экспериментальной электрохимии», XII Международная научная конференция, г. Плес, Ивановская обл., 13 – 17 сентября 2021 г. Тезисы докладов. Иваново: Институт химии растворов им. Г.А. Крестова РАН, 2021. – 143 с. ISBN 978-5-905364-18-1. – С. 79.
11. Орлова К.А. Влияние природы аминоксодержащего лиганда в щелочном электролите на состав цинк-никелевого сплава / К.А. Орлова, И.А. Адудин, **М.А. Шелухин** [и др.] // Успехи в химии и химической технологии. – 2021. Т. – 35, № 8 (243). – С. 126-128.

12. **Шелухин М.А.** Исследование влияния концентрации блескообразующей добавки в электролите на состав и катодный выход по току сплава / **М.А. Шелухин**, К.А. Орлова, М.А. Подшибнев, Н.С. Григорян, Т.А. Ваграмян, Д.А. Жирухин // «Современные методы в теоретической и экспериментальной электрохимии», XIII Плесская Международная научная конференция, г. Плес, Ивановская обл., 05 – 09 сентября 2022 г. Тезисы докладов. Иваново: Институт химии растворов им. Г.А. Крестова РАН, 2022. – 125 с. ISBN 978-5-905364-19-8. – С. 57.

13. **Шелухин М.А.** Исследование влияния концентрации блескообразующей добавки в электролите на содержание никеля в покрытии / **М.А. Шелухин**, К.А. Орлова, М.А. Подшибнев, Н.С. Григорян, Т.А. Ваграмян // «Современные методы в теоретической и экспериментальной электрохимии», XIII Плесская Международная научная конференция, г. Плес, Ивановская обл., 05 – 09 сентября 2022 г. Тезисы докладов. Иваново: Институт химии растворов им. Г.А. Крестова РАН, 2022. – 125 с. ISBN 978-5-905364-19-8. – С. 58.

14. Орлова К.А. Влияние природы аминосодержащего лиганда в щелочном электролите на катодный выход по току и состав покрытия сплавом цинк-никель / К.А. Орлова, **М.А. Шелухин**, М.А. Подшибнев [и др.] // Успехи в химии и химической технологии. – 2022. – Т. 36, № 10 (259). – С. 30-32.

15. Желудкова Е.А. Раствор для пассивации электролитического цинк-никелевого сплава / Е.А. Желудкова, Д.А. Ницук, **М.А. Шелухин**, А.А. Абрашов, Н.С. Григорян // XXII Менделеевский съезд по общей и прикладной химии, 7-12 октября, 2024, Федеральная территория «Сириус», Россия. Сборник тезисов докладов в 7 томах. Том 6. – М.: «Буки Веди», 2024. – 364 с. – ISBN 978-5-00202-670-8 (т. 6). – С. 131.

16. **Шелухин М.А.** Защитные покрытия сплавом цинк-никель на стали / **М.А. Шелухин**, М.А. Подшибнев, Н.С. Григорян [и др.] // Фундаментальные и прикладные вопросы электрохимического и химико-каталитического осаждения и защиты металлов и сплавов: Тезисы докладов III Международной конференции памяти чл.-корр Ю.М. Полукарова, Москва, 26 – 27 ноября 2024 года. – Москва: Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН, 2024. – С. 51.

По тематике, методам исследования, предложенным новым научным положениям диссертация соответствует паспорту специальности научных работников 2.6.9 Технология электрохимических процессов и защита от коррозии в части:

п. 2 Электрохимические, химические, физические, биологические и комбинированные методы защиты конструкционных материалов от коррозии;

п. 3. Электрохимические, химические, физические и комбинированные методы обработки поверхности материалов и нанесения покрытий. Гальванопластика и гальваностегия;

п. 5. Структура, защитные, механические, декоративные и другие свойства коррозионностойких материалов и защитных покрытий;

п. 8. Экологические вопросы коррозии, противокоррозионных и электрохимических технологий. Очистка, регенерация, обезвреживание и утилизация отходов электрохимических производств и использование отходов в противокоррозионной технике.

Автореферат отражает основное содержание диссертации.

Диссертация Шелухина Михаила Александровича является завершенной научно-квалификационной работой, содержащей результаты, полученные на основании исследований, проведенных на высоком научном и техническом уровне с применением современных методов исследования. Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные автором, теоретически обоснованы и не вызывают сомнений. Представленные в работе результаты принадлежат Шелухину Михаилу Александровичу; они оригинальны, достоверны и отличаются научной новизной и практической значимостью.

С учетом научной зрелости автора, актуальности, научной новизны и практической значимости работы, а также ее соответствия требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», предъявляемым к подобным работам, диссертация на тему: «Разработка технологического процесса

электроосаждения сплава цинк-никель из щелочного электролита» рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.9 – Технология электрохимических процессов и защита от коррозии.

Диссертация рассмотрена на расширенном заседании кафедры инновационных материалов и защиты от коррозии, состоявшемся «25» июня 2025 года, протокол № 12.

В обсуждении приняли участие: д.т.н., профессор, заведующий кафедрой Ваграмян Т.А.; к.х.н., доцент, профессор кафедры Григорян Н.С.; к.т.н., доцент, доцент кафедры Мазурова Д.В.; к.т.н., доцент, доцент кафедры Абрашов А.А., д. пед. н., профессор, профессор кафедры Капустин Ю.И.; к.т.н., доцент кафедры Чуднова Т.А.; к.т.н., доцент, доцент кафедры Василенко О.А.; к.т.н., доцент, доцент кафедры Вершинина Е.В.; к.т.н., доцент кафедры Смирнов К.Н.; к.т.н., ведущий инженер кафедры Аснис Н.А., к.т.н., специалист по учебно-методической работе 1 категории кафедры, генеральный директор ООО ПК «НПП СЭМ.М» Архипов Е.А.; д.х.н., профессор, заведующий лабораторией окисления и пассивации металлов и сплавов ФГБУН «Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина» РАН Андреев Н.Н.; к.т.н., и.о. начальника производственного управления АО «НИЦЭВТ» Гиринов О.С.

Принимало участие в голосовании 13 человек. Результаты голосования: «За» - 13 человек, «Против» - 0 человек, воздержались - 0 человек, протокол № 12 от «25» июня 2025 года.

Заведующий кафедрой
инновационных материалов
и защиты от коррозии
д.т.н., профессор

Т.А. Ваграмян

Секретарь заседания
доцент кафедры
инновационных материалов
и защиты от коррозии
к.т.н., доцент

Д.В. Мазурова