


МИСИС
УНИВЕРСИТЕТ

 ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИСИС»
(НИТУ МИСИС)»**

Ленинский проспект, 4, стр. 1, Москва, 119049

Тел. (495) 955-00-32; Факс: (499) 236-21-05

<http://www.misis.ru>

 E-mail: kancela@misis.ru

ОКПО 02066500 ОГРН 1027739439749

ИНН/КПП 7706019535/ 770601001

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по науке и инновациям,

доктор технических наук, профессор



М.Р. Филонов

2025 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Марченко Валерии Станиславовны на тему:

«Многofункциональные ингибиторсодержащие покрытия на магнии и магниевых сплавах:
механизм деградации и активная защита от коррозии»,

представленную на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности

1.4.4. Физическая химия

Актуальность темы исследования

Магний и его сплавы, благодаря их высокой прочности при малом удельном весе и биосовместимости, относятся к числу важнейших конструкционных материалов в современных высокотехнологичных отраслях, включая медицину. Однако крайне низкая коррозионная стойкость магния является основным фактором, сдерживающим его широкое применение. Разработка эффективных методов защиты, в частности, создание покрытий, обладающих не только барьерными, но и другими функциональными свойствами, представляет собой одну из наиболее востребованных научно-практических задач. Исследование механизма деградации материала с такими покрытиями и установление функции активной защиты от коррозии является ключевым фактором, необходимым для создания новых материалов с заданным сроком службы. В связи с этим тема диссертационной работы Марченко Валерии Станиславовны является актуальной.

Степень обоснованности научных положений и выводов, сформулированных в диссертации

Научные положения и выводы, сформулированные в диссертации, являются хорошо обоснованными и достоверными, что подтверждается статистически обработанными результатами взаимодополняемых и независимых современных физико-химических методов исследования, включая сканирующую электронную микроскопию, энергодисперсионную

спектроскопию, рентгеновскую фотоэлектронную спектроскопию, методы локальной электрохимии (SVET/SIET), электрохимическую импедансную спектроскопию и потенциодинамическую поляризацию. Использование синергетического подхода, сочетающего изучение взаимосвязи состава материала подложки, состава покрытия, электролита и барьерных свойств, получаемых композиционных и гибридных покрытий в сочетании с разработанным на базе экспериментальных данных механизмов эффекта самозалечивания, позволило автору убедительно доказать сформулированные априори гипотезы.

Соответствие диссертации и автореферата требованиям Постановления Правительства РФ

Диссертационная работа Марченко Валерии Станиславовны соответствует критериям, установленным Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 «О порядке присуждения ученых степеней». Работа выполнена в рамках специальности 1.4.4. Физическая химия, а ее содержание, структура и оформление соответствуют предъявляемым требованиям. Автореферат адекватно отражает основное содержание диссертации.

Научная и практическая ценность результатов работы

Диссертационное исследование обладает значительной научной и практической значимостью.

Научная новизна заключается в установлении фундаментальных закономерностей процесса резорбции, приемлемых для медицины сплавов магния *in vitro*, в частности Mg-0,8Ca, в определении влияния поверхностной неоднородности материала на интенсивность процесса коррозии, а также в установлении механизма активной антикоррозионной защиты гибридных полимерсодержащих покрытий, в состав которых входят ингибиторы коррозии.

Практическая значимость состоит в разработке перспективных способов нанесения многофункциональных покрытий, обладающих повышенной коррозионной стойкостью. Полученные результаты могут быть использованы в сфере имплантационной хирургии, а также на предприятиях авиационного машиностроения и в научно-исследовательских организациях, занимающихся разработкой антикоррозионных покрытий. Отдельный интерес представляет апробированная в диссертационной работе методика локального электрохимического анализа (SVET/SIET) функциональных материалов.

Соответствие содержания диссертации специальности, указанной в аттестационном деле

Содержание диссертации полностью соответствует специальности 1.4.4. Физическая химия, так как работа посвящена исследованию химических (физико-химических) аспектов

коррозии и защиты материалов, разработке новых покрытий и изучению механизмов их функционирования, что входит в паспорт указанной специальности.

Характеристика работы и личный вклад соискателя

Диссертация представляет собой завершённое научное исследование. Структура диссертации логична, а содержание изложено ясным и четким языком. Личный вклад соискателя является определяющим. Марченко В. С. провела большую часть экспериментальных исследований, осуществила обработку и интерпретацию полученных данных, сформулировала научные положения и выводы. Соискатель продемонстрировала глубокие теоретические знания по теме диссертации и способность самостоятельно анализировать результаты сложных прецизионных экспериментальных исследований.

Апробация результатов работы и публикации

Результаты диссертационной работы были апробированы на 12 всероссийских и международных конференциях, включая 1st Corrosion and Materials Degradation Web Conference, научную сессию-конкурс молодых ученых ИХ ДВО РАН, Asian School-Conference on Physics and Technology of Nanostructured Materials, Химия и химическая технология в XXI веке, Медицинская наука: вчера, сегодня, завтра, Химия, физика, биология: пути интеграции и т.д. По теме диссертации опубликовано 33 печатные работы, из них 2 монографии (в соавторстве) и 14 статей в рецензируемых научных журналах, входящих в базы цитирования РИНЦ, Web of Science и/или Scopus, что полностью удовлетворяет требованиям ВАК.

Общая характеристика диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения и списка литературы. Работа изложена на 160 страницах, содержит 72 рисунка, 17 таблиц. Список литературы включает 190 источников.

Во введении обоснована актуальность темы выбранного исследования, сформулирована цель и задачи диссертационной работы, изложены научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, положения, выносимые на защиту.

В первой главе представлен анализ современного состояния исследований в области медицинского материаловедения. Проведённый соискателем обзор литературных данных характеризуется глубиной проработки. Автором не только проведена систематизация современных научных представлений в области производства, механизмов разрушения и методов защиты биорезорбируемых сплавов магния, но и критически оценены существующие подходы, в частности, к созданию ингибиторсодержащих защитных покрытий. Выявленные при этом перспективные направления исследований стали основой для формулировки цели и задач диссертации.

Во второй главе описаны материалы и методы, использованные в работе. Методологический раздел диссертации отражает принципы и подходы, используемые для проведения исследований. Особого внимания заслуживает предложенная соискателем комплексная процедура модификации поверхности, ключевым элементом которой является инновационный способ формирования гибридных покрытий на основе кальций-фосфатных ПЭО-слоев. Достоверность и полнота полученных экспериментальных данных обеспечены применением в работе современных физико-химических методов (СЭМ-ЭДС, РФЭС, РФА, АСМ сканирующим зондом Кельвина, Рамановская микроспектроскопия, ЭИС, ПДП), включающих локальные сканирующие электрохимические методы (SVET/SIET).

Третья глава посвящена детальному изучению коррозионного поведения и процессов биodeградации сплава Mg-0,8Ca. На основании результатов проведённых экспериментов доказана высокая эффективность антикоррозионной защиты сформированного гидроксиапатитсодержащего ПЭО-покрытия, позволяющего управлять кинетикой резорбции имплантата. Автором разработана модель механизма деградации как сплава без покрытия, так и с нанесенным защитным ПЭО-слоем на поверхности, имеющая прикладное значение и позволяющая определить особенности функционирования магниевых имплантатов в условиях, приближенных к реальным.

Четвертая глава посвящена разработке способов модификации поверхности сплавов систем Mg-Mn-Ce и Mg-Ca с использованием ингибиторов коррозии и биорезорбируемого полимера. Установлена взаимосвязь состава покрытия (обработанного стеариновой кислотой, нитратом церия, поликапролактоном) и антикоррозионными свойствами защитных слоев. Наиболее значимым результатом является экспериментальная верификация эффекта самозалечивания данных покрытий в условия *in vitro* при использовании предложенной методики мониторинга локальных электрохимических параметров. Реализация процесса самовосстановления защитных покрытий, обеспечивающего не только снижение скорости коррозии, но и равномерность деградации материала, открывает новые возможности для создания перспективных биорезорбируемых имплантатов с прогнозируемой кинетикой развития коррозионного процесса.

В заключении представлены основные выводы по полученным результатам диссертации, соответствующие поставленной цели, задачам и положениям, выносимым на защиту, а также раскрыта их теоретическая и практическая значимость. Подчеркнуто, что работа направлена на решение актуальной задачи создания новых биосовместимых материалов для медицины, а именно на разработку защитных покрытий нового поколения для биорезорбируемых магниевых имплантатов.

Замечания и рекомендации

1. В работе убедительно продемонстрирована эффективность активной защиты покрытий от коррозии магниевых сплавов в модельных средах (например, в 0,9 % растворе NaCl и Minimum Essential Medium) на протяжении 24 часов выдержки материала. Однако для оценки реального эксплуатационного потенциала покрытий целесообразно было бы провести исследования в течение более длительных временных интервалах (от 10 недель и более) с использованием методов мониторинга процесса коррозии (например, электрохимическая импедансная спектроскопия, волюмометрия, гравиметрия). Это позволило бы установить длительность действия ингибитора, влияющего на эффективность самозалечивания покрытия, оценить его прогнозируемый ресурс, а также выявить возможные изменения механизма антикоррозионной защиты после окончания ингибирующего действия.

2. Автору следовало бы усилить фундаментальную составляющую работы за счет применения методов компьютерного моделирования для исследования механизмов взаимодействия молекул ингибитора с поверхностью магниевого сплава и его продуктами коррозии на атомно-молекулярном уровне. Моделирование процессов адсорбции, формирования комплексов и установление влияния легирующих элементов сплава на интенсивность указанных процессов позволило бы не только констатировать факт ингибирования, а прогнозировать эффективность действия новых соединений и целенаправленно проектировать молекулы ингибиторов с улучшенными характеристиками. Это создаст научный задел для перехода от эмпирического подбора ингибиторов к дизайну новых самозалечивающихся покрытий.

3. В качестве перспективного направления для дальнейших исследований рекомендуется изучить возможность создания гибридных ингибиторных систем, сочетающих в одном покрытии ингибиторы различного механизма действия. Ожидается, что синергетический эффект от их совместного использования позволит существенно повысить эффективность активной антикоррозионной защиты, особенно в условиях локальных повреждений покрытия. Для этого целесообразно провести скрининг пар ингибиторов, исследовать кинетику их совместного высвобождения и оценить эффективность сформированного защитного слоя с помощью методов локальной электрохимии (SVET/SIET).

Диссертационная работа Марченко Валерии Станиславовны на тему «Многофункциональные ингибиторсодержащие покрытия на магнии и магниевых сплавах: механизм деградации и активная защита от коррозии» является завершенным научно-квалификационным исследованием, в котором решена важная научная задача по разработке

новых принципов активной коррозионной защиты магниевых сплавов для биомедицинского применения путём создания многофункциональных покрытий с эффектом самозалечивания. Результаты и выводы диссертационной работы представляют весомый вклад в развитие электрохимических аспектов физической химии, медицинского материаловедения, химии и науки о материалах. Соискатель продемонстрировала умение самостоятельно проводить научные исследования и анализировать полученные результаты.

Диссертация соответствует критериям, установленным Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842 «О порядке присуждения ученых степеней» (в действующей редакции), а ее автор, Марченко Валерия Станиславовна, безусловно заслуживает присуждения ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.4. Физическая химия.

Работа рассмотрена и обсуждена на заседании кафедры порошковой металлургии и функциональных покрытий (ПМиФП) Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (протокол №4 от 20 ноября 2025 г.). Отзыв составлен на основании анализа диссертации, автореферата и публикаций Марченко В.С.

Заведующий кафедрой ПМиФП,
директор НУЦ СВС МИСиС-ИСМАН,
д.т.н., член-корреспондент РАН, профессор


Евгений Александрович Левашов

Доцент, ученый секретарь кафедры ПМиФП,
научный сотрудник НУЦ СВС МИСиС-ИСМАН,
к.т.н.


Марина Яковлевна Бычкова

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»
119049, г. Москва, Ленинский проспект, 4 стр. 1.

Тел. 7(495)955-00-32, Факс: 7(499)236-21-05, E-mail: kancela@misis.ru

Сайт: <https://misis.ru/>



Подпись

завещаю

зам. начальника
отдела кадров


Кузнецова А.Е.

« 10 » 11 2025 г.