

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.377.01,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ  
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 15.12.2023 г., № 6

О присуждении Мягких Павлу Николаевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук. Диссертация «Влияние структурообразующих факторов на кинетику процессов деградации магниевого сплава медицинского назначения ZX10» по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния принята к защите 6 октября 2023 г. (протокол заседания № 5), диссертационным советом 24.2.377.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный технический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, д. 244, приказ № 105/нк от 11.04.2012 г.

Соискатель Мягких Павел Николаевич родился 21 августа 1991 года. В 2016 году окончил магистратуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тольяттинский государственный университет» по направлению 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов». В 2022 году окончил аспирантуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тольяттинский государственный университет» по направлению 03.06.01 «Физика и астрономия». С 2016 по 2018 работал в должности техника в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Тольяттинский государственный университет». В период подготовки диссертации с 2018 года и по настоящее время Мягких Павел Николаевич работает в должности младшего научного сотрудника Научно-исследовательского института прогрессивных технологий федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тольяттинский государственный университет» Минобрнауки РФ.

**Научный руководитель: Мерсон Дмитрий Львович**, доктор физико-математических наук, профессор, директор Научно-исследовательского института прогрессивных технологий, профессор кафедры «Нанотехнологии, материаловедение и механика» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тольяттинский государственный университет» Минобрнауки РФ.

**Официальные оппоненты: Исламгалиев Ринат Кадыханович**, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры «Материаловедение и физика металлов» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский университет науки и технологий»

(УУНиТ), г. Уфа; **Комиссаров Александр Александрович**, кандидат технических наук, доцент, заведующий лабораторией «Гибридные наноструктурные материалы» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (НИТУ МИСИС), г. Москва.

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «**Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)**» (МАИ), г. Москва., в своем положительном отзыве, подписанным **Бецофеном Сергеем Яковлевичем**, доктором технических наук, профессором, профессором кафедры «Технологии и системы автоматизированного проектирования металлургических процессов» и **Моисеевым Виктором Сергеевичем**, доктором технических наук, профессором, заведующим той же кафедры и утвержденным **Равиковичем Юрием Александровичем**, доктором технических наук, профессором, исполняющем обязанности проректора по научной работе, указала, что диссертация Мягких П. Н. представляет собой завершенное научное исследование влияния структурообразующих факторов на кинетику процесса деградации магниевого сплава медицинского назначения ZX10, выполненное на высоком научном уровне, а полученные результаты имеют большое значение как для фундаментальной, так и для прикладной науки.

По объему полученных результатов и научной значимости диссертационная работа Мягких П. Н. удовлетворяет всем требованиям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, а ее автор, Мягких Павел Николаевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

Соискатель имеет 12 опубликованных научных работ по теме диссертации, из них в рецензируемых научных изданиях (в т.ч. индексируемых Scopus и WoS) опубликовано 7 работ. Основные результаты теоретических исследований, приведенные в диссертационной работе, получены автором самостоятельно. Автор принимал личное участие в разработке методологии экспериментов, проведении лабораторных исследований, интерпретации результатов, написании статей и подготовке докладов. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных работах.

Наиболее значительные научные работы по теме диссертации:

1. Vinogradov A., Merson E., **Myagkikh P.**, Linderov M., Brilevsky A., Merson D. Attaining High Functional Performance in Biodegradable Mg-Alloys: An Overview of Challenges and Prospects for the Mg-Zn-Ca System // Materials (Basel). 2023. Vol. 16, № 3. P. 1324.

2. Merson D., Brilevsky A., **Myagkikh P.**, Tarkova A., Prokhorikhin A., Kretov E., Frolova T., Vinogradov A. The functional properties of Mg-Zn-X biodegradable magnesium alloys // Materials (Basel). 2020. Vol. 13, № 3. P. 544.

3. Merson D.L., Brilevsky A.I., **Myagkikh P.N.**, Markushev M. V., Vinogradov A. Effect of deformation processing of the dilute mg-1zn-0.2ca alloy on the mechanical properties and corrosion rate in a simulated body fluid // Lett. Mater. 2020. Vol. 10, № 2. P. 217–222.

4. **Myagkikh P.N.**, Merson E.D., Poluyanov V.A., Merson D.L. Structure effect on the kinetics and staging of the corrosion process of biodegradable ZX10 and WZ31 magnesium alloys // Front. Mater. Technol. 2022. № 2. P. 63–73.

5. **Myagkikh P.N.**, Merson E.D., Poluyanov V.A., Merson D.L. The dependence of the biodegradable ZX10 alloy corrosion process on the structural factors and local pH level // *Front. Mater. Technol.* 2023. № 2. P. 59–76.

На диссертацию и автореферат поступило 14 отзывов:

1. **Отзыв ведущей организации.** Критические замечания: Несмотря на то, что в работе был использован сплав в двух состояниях: литом и ультрамелкозернистом, не все эксперименты были поставлены на обоих материалах; Утверждение на рис. 4.42 ошибочно, поскольку фактор Шмидта для базисного скольжения равен нулю как в плоскости базиса, так и в нормальном ей направлении; Не приведена оценка ориентационной зависимости общей коррозии; Для демонстрации глубины повреждений в работе представлены карты высот, по которым довольно сложно понять точное значение глубины язв; В диссертации встречается не точная терминология, так базисную плоскость и базисное скольжение называют базальной плоскостью и базальным скольжением.

2. **Отзыв официального оппонента**, д.ф.-м.н. Исламгалиева Рината Кадыхановича. Критические замечания: Количество поставленных задач не соответствует количеству пунктов научной новизны, положений, выносимых на защиту, и количеству выводов; В третьей задаче «Оценить зависимость основных характеристик деградации от состояния материала и размера его зерна» не пояснен термин «состояние материала»; На странице 83 наблюдается расхождение между текстом и табличными значениями по химическому составу исследуемых частиц; В выводах по 4 главе это не отражено по какому механизму идет растворение поверхности, в зависимости от того какие частицы какой электродный потенциал имеют; Можно было бы провести дополнительные рентгеноструктурные исследования образцов до и после растворения поверхности; Первый вывод, в основных выводах по работе, можно было бы отнести к преамбуле перед выводами, а не к самим выводам.

3. **Отзыв официального оппонента**, к.т.н. Комиссарова Александра Александровича. Критические замечания: В разделе «Материалы для исследования» не приведены данных о шихтовых материалах, которые были использованы при выплавке экспериментальных сплавов; В этом же разделе при описании состояний материала не указаны режимы получения экспериментальных образцов для исследования не приведены; На рисунке 2.5 приведены изображения частиц примесей, которые описаны как примеси Fe и Al, окруженные толстой оболочкой из Zr, но подтверждения, что это именно оболочка в работе не приведено; Логично было бы проводить коррозионные испытания при температуре человеческого тела 37 °С, а не 24°С; На рисунке 4.3 отсутствуют размерные маркеры, что не позволяет даже ориентировочно оценить размеры коррозионных язв; На странице 80 идет описание результатов на литых образцах, на которых выявлены нитевидные повреждения. Образцы с такими повреждениями надо было исключить из эксперимента и повторить исследования; Страница 96 - не совсем верно выбран сплав для исследования; Рисунок 4.34: следует учитывать, что результаты, полученные в работе, характеризуют начальные стадии коррозии. Рисунок 4.43: трещины в пленке возникают по тем же самым причинам, по которым, в том числе, магний склонен к возгоранию.

4. **Отзыв на автореферат** от д.-ф.-м.н., доцента Института физики прочности и материаловедения СО РАН (ИФПМ СО РАН) Астафуровой Еленой Геннадиевной. Критические замечания: Механическое вдавливание частиц будет сопровождаться

формированием поля напряжений в основном материале, окружающем частицу. В автореферате не указано, как был учтен или нивелирован этот фактор при рассмотрении полученных результатов.

5. **Отзыв на автореферат** от д.т.н, главного научного сотрудника Института металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова, проф., Ботвины Людмилы Рафаиловны. Критические замечания: В автореферате не представлены количественные характеристики исследуемого процесса деградации - скорость растворения, глубина повреждений и количество их очагов.

6. **Отзыв на автореферат** от д.ф.-м.н., профессора, заведующего кафедрой естественнонаучных дисциплин имени профессора В.М. Финкеля ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет Громова Виктора Евгениевича и д.т.н., доцента, профессора той же кафедры Невского Сергея Андреевича. Критические замечания: Не понятно, что означают отрицательные значения на карте высот на рис. 4 автореферата.

7. **Отзыв на автореферат** от д.ф.-м.н., профессора, главного научного сотрудника ФИЦ проблем химической физики и медицинской химии РАН Колобова Юрия Романовича и к.т.н, старшего научного сотрудника лаборатории композиционных материалов Манохина Сергея Сергеевича. Критические замечания: В автореферате не приведены данные об уточненном экспериментально элементном составе; В автореферате не приведены данные о режимах получения экспериментальных образцов для исследований; Диссертантом не проводились исследования тонкой структуры и фазового состава исследуемого сплава методами просвечивающей электронной микроскопии; Не связана ли большая поверхностная плотность и глубина дефектов у литого материала с наличием неоднородностей элементного и фазового составов в исходном материале, которые сформировались еще на стадии литья?

8. **Отзыв на автореферат** от к.т.н., доцента, старшего научного сотрудника научно-образовательного центра новых материалов и перспективных технологий ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет» Приймак Елены Юрьевны и д.т.н., доцента, директора научно-образовательного центра новых материалов и перспективных технологий Крыловой Светланы Евгеньевны. Замечаний нет.

9. **Отзыв на автореферат** от д.т.н., профессора, руководителя отделения (на правах кафедры) экспериментальной физики Инженерной школы ядерных технологий ФГАОУ ВО НИ ТПУ Лидера Андрея Марковича. Критические замечания: В автореферате крайне скудно приведено описание исследования стадийности коррозионного повреждения образцов в главе 3; В главе 4 диссертационной работы приведены результаты исследования зон пассивации и их структура, однако убедительных доказательств протекания предполагаемых процессов формирования таких зон, не представлено; В главе 5 для управления пространственно-ориентированной коррозией в магниевых сплавах выбраны порошки пяти металлов, исходя из таких параметров, как электродный потенциал, биосовместимость, доступность и изученность влияния на организм. Исходя из предложения использования результатов работы автором, с целью проектирования хирургических имплантатов, выбор материалов следует признать недостаточно удачным.

10. **Отзыв на автореферат** от д.ф.-м.н, главного научного сотрудника ИПСМ РАН Назарова Айрата Ахметовича. Критические замечания: Предложенный способ

создания зон улучшенной пассивации автором был проверен на материале только в литом состоянии, хотя с практической точки зрения, было бы лучше это сделать в состоянии после всесторонней изотермическойковки.

11. **Отзыв на автореферат** от д.т.н., главного научного сотрудника, зав. лабораторией прочности ФГБУН Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН Волкова Алексея Юрьевича. Критические замечания: Не рассмотрено влияние ионов железа в крови на коррозионные свойства магниевых имплантатов. Говорит ли образование глубокой язвы вокруг порошка железа на Mg-образце о возможном повышении скорости коррозии при погружении этого образца в кровь, а не в экспериментальную жидкость?

12. **Отзыв на автореферат** от к.т.н. старшего научного сотрудника ИФМК УНЦ РАН Хафизовой Эльвиры Динифовны. Критические замечания: В работе отмечена роль кристаллографической ориентации, частиц второй фазы, включений, но не описано влияние границ зерен, что существенно влияет на коррозионные свойства.

13. **Отзыв на автореферат** от д.т.н., профессора, профессора кафедры общей и экспериментальной физики ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет» Плотникова Владимира Александровича. Критические замечания: Ни в главе 3, ни в главе 4, ни в главе 5 не акцентировано внимание именно на In-situ и Ex-situ методах, позволивших получить данные о скорости растворения и стадийности этого процесса, морфологии и глубине повреждений, а также зависимости этих характеристик от состояния материала; Почему не проанализирован механизм, определяющий стадийность материала в агрессивной среде? Знание этого механизма (или механизмов) позволяет управлять этими процессами.

14. **Отзыв на автореферат** от к.т.н., старшего научного сотрудника лаборатории металловедения цветных и легких металлов ИМЕТ РАН Мартыненко Натальи Сергеевны. Критические замечания: В тексте автореферата нигде не указано, как обработка ВИК+О повлияла на свойства сплава. В тексте автореферата диссертант не провел анализ, как исходное состояние (литое или деформированное) влияет на свойства сплава. Учитывал ли автор влияние плотности дефектов кристаллической решетки на коррозионную стойкость?

Все отзывы положительные, отмечают актуальность темы диссертации, практическую и теоретическую значимость основных положений, научную новизну, соответствие диссертационной работы требованиям Положения о присуждении ученых степеней, а автор – Мягких П. Н. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их высокой компетентностью в области физики металлов и, в частности, магниевых сплавов, что подтверждается наличием у них публикаций в научных изданиях в сфере исследования соискателя, способностью определить научную и практическую ценность работы.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**показаны** результаты, раскрывающие стадийность и кинетику процесса растворения и разложения биорезорбируемого сплава ZX10 в условиях, имитирующих условия человеческого тела;

**доказана** зависимость пути распространения нитевидных повреждений от кристаллографической ориентации зерна;

**определены** причины инициации процесса язвообразования;

**раскрыты** процессы, протекающие на поверхности сплава вблизи частиц вторичных фаз в агрессивной среде;

**предложен** способ защиты медицинских изделий из магниевых биорезорбируемых сплавов путем создания искусственных зон улучшенной пассивации.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

**обосновано** с применением in-situ методов, как максимально информативных исследовательских инструментов, соответствие кинетики процесса растворения сплава ZX10 процессам на его поверхности, таким как рост нитевидных повреждений, пассивация и образование язв;

**раскрыто**, что определяющим фактором направления распространения нитевидных повреждений является положение базисной плоскости 0001 кристаллита;

**установлена** роль электродного потенциала частиц и уровня pH в приповерхностных микрообъемах раствора на локальную пассивацию магниевого сплава ZX10.

**применительно к проблеме диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использована** совокупность in-situ и ex-situ методов исследования, позволяющая провести комплексное изучение и на его основе сформировать объективные представления о протекании процесса растворения и разложения магниевого сплава ZX10;

**раскрыты** возможные пути воздействия на процесс разложения магниевых сплавов, позволяющие создавать искусственные зоны улучшенной пассивации;

**изложено** теоретическое обоснование наблюдаемой зависимости направления распространения нитевидных повреждений на поверхности от кристаллографической ориентации зерна.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:**

**определены** причины возникновения язвенных повреждений на поверхности магниевого биорезорбируемого сплава ZX10 в агрессивной среде;

**представлен** и протестирован в лабораторных условиях и защищен патентом способ создания искусственных зон улучшенной пассивации для защиты медицинских изделий из магниевых сплавов от воздействия биологически активной среды.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

**идея базируется** на комплексном анализе результатов исследования объекта современным инструментарием до воздействия активной среды, при помощи in-situ методов непосредственно во время воздействия и прецизионного исследования поврежденности поверхности после воздействия;

**теория** о причинах образования язв и механизмах роста нитевидных повреждений соответствует основным положениям физики конденсированного состояния;

**использованы** современные методы и средства исследования, которые хорошо дополняют друг друга и позволяют получить полное представление об исследуемых процессах.

