

ЗАКЛЮЧЕНИЕ
ОБЪЕДИНЕННОГО ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА
99.2.039.02

созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный технический университет» и федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

аттестационное дело № _____
решение объединенного диссертационного
совета от 20.12.2024 г. № 11

О присуждении Брилевскому Александру Игоревичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка магниевого сплава с повышенным комплексом механических и функциональных свойств для производства биорезорбируемых имплантатов» по специальности 2.6.17. Материаловедение принята к защите 14 октября 2024 г. (протокол заседания № 9), объединенным диссертационным советом 99.2.039.02, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный технический университет» Минобрнауки Российской Федерации, 443100, Самара, Молодогвардейская 244, и федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» Минобрнауки РФ, 443086, Самара, Московское шоссе, 34, приказ Минобрнауки РФ №45/нк от 30.01.2017 г.

Соискатель Брилевский Александр Игоревич, 23.12.1994 года рождения, в 2017 году окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тольяттинский государственный университет», по направлению подготовки «Материаловедение и технология материалов». В 2019 году с отличием окончил очную магистратуру по направлению «Материаловедение и технологии материалов». В 2023 г. соискатель окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тольяттинский государственный университет» по программе подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по направлению подготовки «03.06.01 Физика и астрономия», присвоена квалификация «Исследователь. Преподаватель-исследователь». С 01.03.2024 г. зачислен в качестве лица, прикрепленного для сдачи кандидатских экзаменов без освоения программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по специальности 2.6.17. Материаловедение (технические науки). Справка о сдаче кандидатских экзаменов по научной специальности 2.6.17. Материаловедение №Сп-02.03/581 выдана

06.05.2024 г. федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Самарский государственный технический университет».

В период подготовки диссертации Брилевский А.И. с 2017 г. и по настоящее время работает младшим научным сотрудником Научно-исследовательского института прогрессивных технологий федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тольяттинский государственный университет».

Диссертация выполнена в Научно-исследовательском институте прогрессивных технологий федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тольяттинский государственный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – д.ф.-м.н., профессор Мерсон Дмитрий Львович, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тольяттинский государственный университет», Научно-исследовательский институт прогрессивных технологий, директор.

Официальные оппоненты:

Бецофен Сергей Яковлевич, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ), кафедра «Технологии и системы автоматизированного проектирования металлургических процессов», профессор;

Хафизова Эльвира Динифовна, кандидат технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский университет науки и технологий» (УУНиТ), Республика Башкортостан, кафедра «Материаловедение и физика металлов», доцент
дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук (ИФПМ СО РАН), г. Томск, в своем положительном отзыве, утвержденным Колубаевым Евгением Александровичем, д.т.н., профессором РАН, директором ИФПМ СО РАН, подписанным Шаркеевым Юрием Петровичем, д.ф.-м.н., профессором, г.н.с. лаборатории физики наноструктурных биокomпозитов ИФПМ СО РАН, Просоловым Константином Александровичем, к.ф.-м.н., научным сотрудником лаборатории физики наноструктурных биокomпозитов ИФПМ СО РАН и Ерошенко Анной Юрьевной, к.т.н., научным сотрудником лаборатории физики наноструктурных биокomпозитов ИФПМ СО РАН указала, что рецензируемая диссертационная работа, посвященная разработке оптимального по структурно-фазовому состоянию и по элементному составу нового магниевого сплава, обладающего всеми необходимыми свойствами для производства биорезорбируемых имплантатов, является актуальной и соответствует сразу двум направлениям Стратегии НТР РФ: «Переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материа-

лам...» и «Переход к персонализированной медицине, высокотехнологичному здравоохранению и технологиям здоровьесбережения...».

Заключение содержит следующие замечания: В работе указано, что анализируемые магниевые сплавы семи составов подвергались обработке методами интенсивной пластической деформации для достижения требуемых механических свойств ротационной ковкой или равноканальным угловым прессованием. Не все обработки методами ИПД были проведены в базовой организации. Следовало бы привести более подробные сведения о совместных работах в этом направлении. Отсутствуют результаты структурно-фазового состояния, в том числе информация о тонкой микроструктуре исследуемого сплава, полученной методами просвечивающей электронной микроскопии, что позволило бы сделать вывод о модах пластического течения.

Соискатель имеет 30 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 7 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 7. Соискатель принимал личное участие в постановке целей и задач, разработке методологии исследования, обработке и интерпретации результатов, а также формулировке всех основных положений, определяющих научную новизну и практическую значимость работы, подготовке публикаций и докладов на конференциях.

Наиболее значительные научные работы по теме диссертации:

1. Merson, D. The functional properties of Mg-Zn-X biodegradable magnesium alloys / D. Merson, A. Brilevsky, P. Myagkikh, A. Tarkova и др. // Materials. – 2020. – Т. 13. – № 3. DOI: 10.3390/ma13030544.

2. Merson, D.L.L. Effect of deformation processing of the dilute Mg-1Zn-0.2Ca alloy on the mechanical properties and corrosion rate in a simulated body fluid / D.L.L. Merson, A.I.I. Brilevsky, P.N.N. Myagkikh, M.V. V. Markushev, A. Vinogradov // Letters on Materials. – 2020. – Т. 10. – № 2. – С. 217-222. DOI: 10.22226/2410-3535-2020-2-217-222.

3. Merson, D. Monitoring Dynamic Recrystallisation in Bioresorbable Alloy Mg-1Zn-0.2Ca by Means of an In Situ Acoustic Emission Technique / D. Merson, M. Linderov, A. Brilevsky, A. Danyuk, A. Vinogradov // Materials. – 2022. – Т. 15. – № 1. – С. 328. DOI: 10.3390/ma15010328.

4. Merson, D.L. The effect of temperature and strain rate on tensile behaviour the Mg-2Zn-0.1Ca alloy / D.L. Merson, I.S. Yasnikov, A.I. Brilevsky, M.L. Linderov и др. // Letters on Materials. – 2023. – Т. 13. – № 3. – С. 185-190. DOI: 10.22226/2410-3535-2023-3-185-190.

5 Vinogradov, A. Attaining High Functional Performance in Biodegradable Mg-Alloys: An Overview of Challenges and Prospects for the Mg-Zn-Ca System / E. Merson, P. Myagkikh, A.I. Brilevsky и др. // Materials. – 2023. – Т. 16. – № 3. – С. 1324. DOI: 10.3390/ma16031324.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

В отзыве официального оппонента **Бецофена С. Я.** указаны следующие замечания: Трудно согласиться с тем, что текстура после РКУП (рис.4.2) с расположением нормалей к базисным плоскостям на периферии полюсной фигуры TD1-TD2 является преимуществом, поскольку такая текстура характеризуется высокой анизотропией свойств

в плоскости TD1-TD2, что является существенным недостатком по сравнению с листом с базисной текстурой, которая обеспечивает изотропию в плоскости листа. На рис.4.7 приведены 6 полюсных фигур, при этом для полного представления базисной текстуры листа достаточно одной полюсной фигуры (0001) в плоскости НП-ПН. Отсутствует объяснение повышенной усталостной долговечности листового материала по сравнению с заготовкой, полученной РКУП, которая может быть обусловлена текстурой, поскольку для любого направления в плоскости листа с базисной текстурой равен нулю фактор Шмида для самого легкого базисного скольжения и не действует сравнительно легкое «растягивающее» {10-12} двойникование (действующее при растяжении вдоль оси «с»). Для большинства ориентаций в плоскости TD1-TD2 РКУП указанные системы могут действовать и тем самым снижать сопротивление деформации. Не совсем точно интерпретируется смена механизмов деформации в магнии при повышенных температурах (стр.86), которая обусловлена тем, что «растягивающее» {10-12} двойникование и «сжимающее» {10-11} двойникование (действующее при сжатии вдоль оси «с»), для которых в отличие от скольжения величины CRSS не снижаются с температурой и их заменяют при повышенных температурах системы <с+а> и призматического скольжения с более высокими значениями CRSS при комнатной температуре.

В отзыве официального оппонента **Хафизовой Э.Д.** содержатся следующие вопросы и замечания: В цели диссертационной работы, уместно было бы указать выбор химического состава биорезорбируемого магниевых сплава, а не его разработку, так как при разработке опираются на фазовые диаграммы металлических систем; В первой главе подраздел 1.2 «Определения» не вписывается в структуру первого раздела. В диссертации отсутствует обоснование выбора режимов деформации, представленных в таблице 2.2; В таблице 2.2 «Режимы термомеханической обработки магниевых сплавов» не указана полная информация по методу деформации а) при РКУП угол пересечения каналов, скорость деформирования сплава S1; б) Режимы экструзии МА 14-1. В работе не обозначены величины прилагаемой нагрузки при проведении деформации. Усталостные испытания магниевых сплавов проводятся при частоте 80 Гц, чем обусловлен выбор такой частоты. В работе представлены исследования коррозии магниевых сплавов двумя методами, где наблюдается большая нестыковка результатов, какой метод является более точным. В таблице 2.5 «Химический состав сплава S13 (ZX10) и S15 (ZX20)» отсутствует строка с результатами сплава S15 (ZX20).

На автореферат поступило 9 отзывов от: 1) И.А. Панченко, к.т.н., заведующего научно-исследовательской лабораторией электронной микроскопии и обработки изображений, доц. каф. менеджмента качества и инноваций ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет» (г. Новокузнецк); А.В. Шуберт, аспиранта кафедры обработки металлов давлением и металловедения ЕВРАЗ Западносибирский металлургический комбинат; 2) И.Р. Кузеева, д.т.н., профессора, профессора кафедры «Технологические машины и оборудование» ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (г. Уфа); 3) В.Д. Белова, д.т.н., профессора, и.о. заведующего кафедрой «Литейные технологии и художественная обработка материалов» и Баженова В.Е., к.т.н., доцента той же кафедры ФГАОУ ВО "Национальный исследова-

тельский технологический университет «МИСиС» (г. Москва); 4) В.Е. Громова, д.ф.-м.н., профессора, заведующего кафедрой естественнонаучных дисциплин имени профессора В.М. Финкеля ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет» (г. Новокузнецк); 5) С.П. Беляева, д.ф.-м.н., ведущего научного сотрудника ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет» (г. Санкт-Петербург); 6) Ю.Р. Колобова, д.ф.-м.н., профессора, главного научного сотрудника, и.о. зав. лабораторией физико-химической инженерии композиционных материалов и С.С. Манохина, к.т.н., старшего научного сотрудника той же лаборатории ФИЦ проблем химической физики и медицинской химии РАН (г. Черноголовка); 7) Г.В. Марковой, д.т.н., доцента, профессора кафедры «Машиностроение и материаловедение» ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет» (г. Тула); 8) А.А. Назарова, д.ф.-м.н., главного научного сотрудника ФГБУН Институт проблем сверхпластичности металлов РАН (г. Уфа); 9) А.В. Макарова, член-корреспондента РАН, д.т.н., заведующего отделом материаловедения и лабораторией механических свойств, главного научного сотрудника ФГБУН Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения (г. Екатеринбург).

В замечаниях на автореферат отмечено: В параграфе 3.3. Формулировка «удовлетворительный процент выживаемости клеток» нуждается в уточнении: неясно, каким критериям удовлетворяет процент. На «Рисунке 4 - Рентгеновский снимок лабораторных крыс с установленными имплантатами» необходимо дополнительно указать, на каком этапе исследования сделан снимок (например, через сколько дней после имплантации). Из текста автореферата не совсем понятно, чем обосновано требование по скорости коррозии сплава менее 2 мм/год. Из текста автореферата не совсем понятно, какой оказалась скорость резорбции сплава *in vivo* (по результатам исследования на крысах). Также было бы интересно сравнить скорость коррозии сплавов в среде Рингера и скорость биорезорбции *in vivo* на крысах; В автореферате не приведено обоснование выбора типа раствора для проведения испытаний на скорость коррозии. На рисунке 7а не указано соответствие между диаграммами и скоростями деформации. Одной из задач диссертации является выбор наиболее перспективного сплава для имплантатов; Судя по автореферату, в диссертационной работе не раскрыты механизмы влияния структуры на коррозионные свойства исследуемых сплавов. Было бы желательным иметь хотя бы предположительные объяснения наблюдаемых экспериментально значительных расхождений значений скоростей коррозии (рисунок 2 автореферата), характерных для исследованных сплавов, обработанных по различным схемам термомеханической обработки. В автореферате и диссертации отсутствуют сведения о результатах исследований методами просвечивающей электронной микроскопии. По этой причине остаются неизвестными данные о структурно-фазовых состояниях исследованных сплавов и эволюции таких состояний при различных обработках или длительном хранении, прогнозе их стабильности в условиях эксплуатации. Отсутствует также информация о текстуре сплавов, распределении легирующих элементов в объеме материала, в том числе наличии зернограницных сегрегаций примесей и легирующих элементов и других данных, желательных для прогноза поведения материалов в условиях одновременного воздействия

нагрузки и агрессивной внешней среды, которой являются биологические жидкости. Поскольку все исследованные свойства являются структурно-чувствительными, в автореферате необходимо указать фазовый состав сплавов. Недостаточно обоснован выбор сплава S11-VIK1, как наиболее перспективного для исследований в главе 4, т.к. данные, приведенные на рисунке 1, е, показывают, что сплав не обеспечивает необходимого уровня прочностных свойств. В формулировках положений 1 и 4 Научной новизны не раскрыты собственно новые научные результаты, что затрудняет проведение оценки их новизны.

Все отзывы положительные, отмечают актуальность темы диссертации, научную новизну и практическую значимость основных положений работы, а также соответствие диссертационной работы критериям Положения о присуждении ученых степеней. Автор диссертационной работы Брилевский А.И. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их высокой компетентностью в области цветных сплавов, в том числе медицинского назначения, что подтверждается публикациями в научных изданиях в сфере исследования соискателя, а также наличием в ведущей организации диссертационного совета по данной научной специальности.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана технологическая схема изготовления биорезорбируемых имплантатов из сплава Mg-1Zn-0.15Ca и режимы его термомеханической обработки, позволяющие обеспечить количественные значения механических, коррозионных, коррозионно-усталостных и биомедицинских свойств, предъявляемые к магниевым сплавам медицинского назначения;

предложен уточненный химический состав магниевого сплава Mg-1Zn-0.15Ca;

доказана перспективность применения метода акустической эмиссии при температурно-скоростных испытаниях сплава Mg-1Zn-0.15Ca для построения карты динамической рекристаллизации;

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказано, что по перегибу на зависимости медианной частоты акустической эмиссии от деформации можно судить об интенсификации процесса динамической рекристаллизации в магниевых сплавах;

применительно к проблематике диссертации результативно использован комплекс существующих базовых методов и экспериментальных методик для экспериментального исследования состава, структуры и свойств перспективных сплавов на основе магния;

изложены суть и режимы комбинированной термомеханической обработки, включающей всестороннюю изотермическую ковку и изотермическую прокатку, которая позволяет обеспечить сплаву Mg-1Zn-0.15Ca необходимый для биорезорбируемых имплантатов комплекс свойств;

изучена связь явления динамической рекристаллизации с температурно-скоростными режимами деформации сплава Mg-1Zn-0.15Ca и построена карта динамической

рекристаллизации, позволяющая прогнозировать протекание этого явления в зависимости от технологических режимов деформирования: температуры, скорости деформации и степени деформации.

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

разработаны и внедрены в производство биорезорбируемых имплантатов Технические условия ТУ 24.45.30-001-55914968-2022 «Сплавы магниевые деформируемые медицинские», дата введения в действие - 12.12.2022, и технологическая схема для производства биорезорбируемых имплантатов;

представлены документы о сертификации производства: Сертификат соответствия, который удостоверяет: система менеджмента качества применительно к производству медицинских изделий - неактивные ортопедические имплантаты «Имплантаты для остеосинтеза биodeградируемые по ТУ 32.50.22-001-15718039-2022» соответствует требованиям ГОСТ ISO 13485-2017, Регистрационный № РОСС RU.ФК54.К00032, дата регистрации 30.11.2023, срок действия до 30.11.2026 и получении регистрационного удостоверения на медицинское изделие от 24 января 2024 года № РЗН 2024/21929 на медицинское изделие «Имплантаты для остеосинтеза биodeградируемые по ТУ 32.50.22-001-15718039-2022».

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ результаты получены с применением: сертифицированного современного оборудования, аттестованных методов и методик, с применением современного программного обеспечения;

теория об интенсификации процесса динамической рекристаллизации в магниевых сплавах при деформации основана на экспериментально подтвержденных результатах и соответствует существующим положениям материаловедения;

идея базируется на анализе мирового опыта и достижении конечного результата на основе комплексного анализа результатов всестороннего исследования Mg сплавов современным инструментарием, включая in-situ методы, а также проведении биомедицинских исследований in vitro и in vivo;

использованы современные методы и методики сбора и обработки экспериментальных данных, сопоставления их между собой и с результатами других авторов, полученных ранее по данной тематике.

Личный вклад соискателя состоит в участии в постановке целей и задач; разработке методологии исследования; в подготовке образцов и выполнении экспериментов, обработке и интерпретации результатов, а также формулировке основных положений, определяющих научную новизну и практическую значимость работы; подготовке публикаций и докладов на конференциях.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было. Соискатель Брилевский А.И. ответил на все заданные ему вопросы и привел собственную аргументацию.

На заседании 20 декабря 2024 года диссертационный совет принял решение за решение научной задачи по разработке состава, структуры и технологии производства

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 8 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 22 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за - 17, против - 0.

Секретарь диссертационного
совета 99.2.039.02

Луц Альфия Расимовна

20 декабря 2024 г.

