

ОТЗЫВ

официального оппонента **Хафизовой Эльвиры Динифовны** на диссертационную работу **Брилевского Александра Игоревича** на тему «Разработка магниевых сплавов с повышенным комплексом механических и функциональных свойств для производства биорезорбируемых имплантатов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности
2.6.17 Материаловедение.

Актуальность темы исследования. Применение биорезорбируемых имплантатов из магниевых сплавов в медицине является актуальным направлением научных исследований, поскольку магниевые сплавы обладают хорошей биосовместимостью и способностью растворяться в человеческом организме, что исключает необходимость повторной операции по удалению имплантата.

Вместе с тем магний обладает невысокими прочностными свойствами, ограничивающими его использование. Важнейшей целью исследований данного направления является получение биоматериала с высокими механическими свойствами с приемлемой скоростью коррозии (резорбции) для временных имплантатов. Повышение прочностных свойств магния достигается методами легирования и различными методами деформации. Но получения в совокупности всех предъявляемых требований для временных имплантатов является весьма сложной задачей, что определяет актуальность темы диссертационной работы А.И. Брилевского.

Структура, объем, форма изложения диссертации и автореферата.

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Тольяттинский государственный университет». Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, благодарности, списка публикаций соискателя, списка литературы из 194 наименований. Диссертационная работа изложена на 139 страницах машинописного текста и содержит 76 рисунков, 18 таблиц и 5 приложений. Материал диссертации хорошо структурирован, изложен последовательно и логично, грамотным техническим языком. Автореферат диссертации соответствует ее содержанию.

По материалам диссертационной работы опубликовано 8 печатных работ, индексируемых международными базами данных WoS и Scopus, входящих в рекомендованный список ВАК. Количество и качество публикаций соответствует требованиям ВАК к кандидатским диссертациям. Основные результаты и положения диссертации докладывались и обсуждались на 10 международных и всероссийских конференциях.

ФГБОУ ВО "СамГТУ"	
№	02.12.2024
Вход. №	5/16

С отзывом ознакомлен 02.12.2024 Брилевский

Краткое содержание работы:

Во введении диссертационной работы описана актуальность работы, сформированы цель и задачи исследования, представлена научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, кратко методология и методы исследования, перечислены основные положения, выносимые на защиту, приведены сведения о личном вкладе автора, связь работы с научными программами и темами, апробация работы.

В первой главе представлен обзор научно-технической литературы в области биорезорбируемых магниевых сплавов. Представлены понятия о биорезорбируемых материалах и определения, приводится краткая историческая справка о применении магния и его сплавов в медицине, представлены данные об эволюции состава металлических имплантатов и наиболее используемых на сегодня стальных и титановых имплантатах. Рассмотрены основные легирующие элементы, используемые для создания магниевых сплавов, влияющих на свойства материала и здоровье человека, получения магниевых сплавов. Также приводятся данные о коррозии магния и коррозионной усталости магниевых сплавов, данные о цитотоксичности, информация о зарубежном коммерческом использовании магниевых биорезорбируемых имплантатов.

Во второй главе представлены сведения об использованных материалах, методах обработки и методиках экспериментальных исследований.

Третья глава посвящена выбору перспективного магниевого сплава для биомедицинского применения. Показаны механические свойства магниевых сплавов 14 марок после различных методов обработки. Из многообразия вариантов сплавов и обработок было выбрано всего пять, сочетающих высокие механические свойства и малую скорость коррозии (резорбцию). На данных образцах были проведены *in vitro* и *in vivo* исследования на крысах. По результатам исследований, включая тесты на цитотоксичность, клеточную адгезию и доклинические испытания на животных, наиболее успешные результаты показали сплавы Mg-1Zn-0,2Ca.

В четвертой главе приведены результаты усталостных и коррозионно-усталостных испытаний сплавов после 2 видов обработок системы Mg-Zn-Ca. Представлены структура и текстура данных сплавов после деформационных обработок, а также проведён детальный анализ их структуры во время статической деформации, исследован процесс деформации. Приведены результаты поведения энергии акустической эмиссии и медианной частоты в зависимости от времени при растяжении образцов сплавов ZX10 и ZX 20, а также анализ механических характеристик.

Также установлено, что усовершенствованный широкополостный метод акустической эмиссии эффективно отражает изменение деформационного поведения, связанные с динамическим восстановлением и рекристаллизацией при высоких температурах.

В сплаве ZX-10 активность механического двойникования уменьшается с повышением температуры, уступая место дислокационному скольжению. В сплаве ZX-20 двойникования не обнаружено.

В пятой главе представлены сведения о разработке технологии изготовления полуфабриката в виде прутка, технологической схемы производства прутка и проверка микроструктуры и свойств получаемых полуфабрикатов.

Изготовленные по разработанной технологии полуфабрикаты в виде прутков полностью соответствуют критериям биорезорбируемых металлических материалов для временных имплантатов.

Оценка степени научной новизны и практической значимости работы. К основным результатам диссертационной работы, обладающей научной новизной, можно отнести то, что в работе впервые показано, что применение комбинированной обработки: всесторонняя изотермическая ковка + изотермическая прокатка, - позволяет получить требуемый для изготовления биорезорбируемых имплантатов комплекс свойств для сплава Mg-1Zn-0.15Ca: предел прочности – 270 МПа, относительное удлинение – 20%, скорость коррозии в среде Рингера – 1,3 мм/год, предел коррозионной усталости в среде Рингера на базе циклов 106 – 80 МПа; положительные тесты на цитотоксичность, адгезию клеток и доклинические испытания 8 на животных;

Впервые установлено, что по положению точки перегиба на зависимости медианной частоты акустической эмиссии от деформации, можно судить об интенсификации процесса динамической рекристаллизации в магниевых сплавах; а для сплава Mg-1Zn-0.15Ca установлены температурно-скоростные зависимости диаграмм растяжения и построена карта динамической рекристаллизации в зависимости от температурно-скоростных режимов деформирования.

Практическая значимость работы определяется, в первую очередь, тем, что на основании проведённых исследований Брилевского А.И. карта динамической рекристаллизации может быть использована для отработки технологий деформационной обработки магниевых сплавов в лабораторных и промышленных условиях, разработаны технические условия «Сплавы магниевые деформируемые медицинские», технологическая схема для производства биорезорбируемых имплантатов, сертифицировано производство, получено регистрационное удостоверение на медицинские изделия, и уже разработанные технические условия впервые внедрены в РФ в производство биорезорбируемых имплантатов на основе магниевых сплавов.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов, рекомендаций, заключений и выводов. Обоснованность и достоверность научных результатов и выводов обеспечена

непротиворечивостью результатов с основными закономерностями, выявленными при анализе литературных данных, применением современных методов и средств исследования, публикацией основных результатов в рецензируемых научных журналах, их обсуждением на ведущих российских и международных конференциях.

Соответствие работы требованиям, предъявляемым к диссертациям и паспорту специальности. Полученные в работе Брилевского А.И. результаты соответствуют по теме и содержанию научной специальности 2.6.17 Материаловедение:

п.3. Разработка научных основ выбора металлических, неметаллических и композиционных материалов с заданными свойствами применительно к конкретным условиям изготовления и эксплуатации деталей, изделий, машин и конструкций.

п.5. Установление закономерностей и критериев оценки разрушения металлических, неметаллических и композиционных материалов и функциональных покрытий от действия механических нагрузок и внешней среды.

п.15. Разработка процессов получения новых металлических, неметаллических и композиционных материалов биомедицинского назначения, установление закономерностей влияния состава, структуры, технологии получения, а также эксплуатационных и других факторов на свойства биомедицинских изделий.

п.16. Создание металлических, неметаллических и композиционных материалов, способных эксплуатироваться в экстремальных условиях: агрессивные среды, электрические и магнитные поля, повышенные температуры, механические нагрузки, вакуум и др.

Замечания и рекомендации по диссертационной работе. Диссертация содержит новые результаты и решения, представляющие научный и практический интерес. Совокупность экспериментальных данных, полученных в диссертационной работе, способствует развитию научных представлений о процессах влияния деформации на структуру и механические свойства магниевых сплавов.

При рассмотрении диссертационной работы возникли следующие вопросы и замечания:

1. В цели диссертационной работы, уместно было бы указать выбор химического состава биорезорбируемого магниевого сплава, а не его разработку, так как при разработке опираются на фазовые диаграммы металлических систем;
2. В первой главе подраздел 1.2 «Определения» не вписывается в структуру первого раздела. Структура диссертации в виде рукописи должна иметь структуру по ГОСТу 7.0.11-2011, где словарь терминов должен быть размещен после заключения и списка сокращенных и условных обозначений;

3. В диссертации отсутствует обоснование выбора режимов деформации, представленных в таблице 2.2;
4. 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.
5. В работе не обозначены величины прилагаемой нагрузки при проведении деформации.
6. Усталостные испытания магниевых сплавов проводятся при частоте 80 Гц, чем обусловлен выбор такой частоты.
7. В работе представлены исследования коррозии магниевых сплавов двумя методами, где наблюдается большая нестыковка результатов, какой метод является более точным.
8. В таблице 2.5 «Химический состав сплава S13 (ZX10) и S15 (ZX20)» отсутствует строка с результатами сплава S15 (ZX20);
9. В тексте присутствуют опечатки и мелкие неточности в оформлении:
 - а) стр. 20, строка 7 слово «потенциалы и типы фаз», следует заменить на «типы»;
 - б) стр. 26 в центре написано: «Введение цинка дополнительно уве твердость за счет», нужно заменить «увеличивает твердость»;
 - в) стр. 28, строка 16 сверху непонятен термин «уточнение зерен», следует заменить «измельчения зерен»;
 - г) стр. 29, строка 13 «включают техники, такие как равноканальное угловое прессование» нужно заменить «включают методы»;
 - д) стр. 34 не понятен термин «единородной микроструктуры», следует заменить «однородной структурой»;
 - е) стр. 100 приведена неправильная ссылка на диаграмму динамической рекристаллизации;
 - ё) на рис. 5.9 не отмечена принадлежность картинок к подрисуночной надписи;
 - ж) в литературном обзоре часто фигурируют такие термины как преципитаты и частицы, следует выбрать одну формулировку;
 - з) в таблице 3.1 «Механические характеристики исследуемых сплавов» не указана погрешность относительного удлинения сплава S10.

Данные замечания не являются критическими и не оказывают влияние на основные выводы диссертационной работы и положения, вынесенные на защиту.

Заключение

Диссертационная работа А.И. Брилевского является законченной научно-квалификационной работой, содержащей решение важной

научной задачи – разработки технологии получения биорезорбируемого магниевового сплава системы Mg-Zn-Ca с требуемыми свойствами для временных имплантатов. Основные положения обоснованы, достоверны и имеют научную новизну и практическую значимость. Содержание диссертации в достаточной степени освещено в профильных рецензируемых научных изданиях, включенных в Перечень ВАК РФ. Автореферат и опубликованные работы в полной мере отражают содержание и ключевые положения диссертации. Работа оформлена в соответствии с требованиями, установленными Министерством науки и высшего образования РФ. Тема диссертационной работы, изложенный материал и полученные результаты соответствуют паспорту научной специальности 2.6.17 Материаловедение.

Диссертационная работа выполнена на хорошем экспериментально-теоретическом уровне и удовлетворяет всем требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор Брилевский Александр Игоревич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 Материаловедение.

Даю согласие на обработку моих персональных данных.

**Официальный оппонент,
Хафизова Эльвира Динифовна**

Кандидат технических наук по специальности 05.16.01 «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов», доцент кафедры Материаловедения и физики металлов федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский университет науки и технологий»

подпись

«25» ноября 2024 г

Адрес: 450008, Приволжский федеральный округ, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Карла Маркса, 12
Телефон: +7 (919) 150-5299, E-mail: ela.90@mail.ru.

Подпись Э.Д. Хафизовой удостоверяю,

Ученый секретарь ученого совета УУНиТ  Н.В. Ефименко
кандидат филологических наук, доцент

