

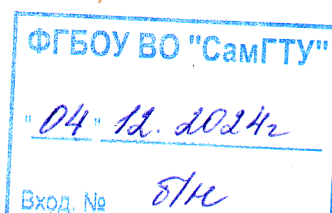
ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Брилевского Александра Игоревича на тему "Разработка магниевого сплава с повышенным комплексом механических и функциональных свойств для производства биорезорбируемых имплантатов", представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 – "Материаловедение"

Диссертационная работа Брилевского А.И. представляет собой поисковое исследование, направленное на создание биорезорбируемого магниевого сплава медицинского назначения с заданной совокупностью функциональных свойств и характеристик. Основной трудностью при решении данной задачи является выполнение всей совокупности требований, предъявляемым к временным имплантатам одновременно, а именно реализация высокой прочности и пластичности, высокой коррозионной стойкости (низкой скорости резорбции), высокой коррозионно-усталостной прочности; высокого сопротивления коррозионному растрескиванию под напряжением, а также отсутствие цитотоксичности. И несмотря на то, что работы в данном направлении активно ведутся многими научными коллективами как у нас в стране, так и за рубежом, проблематика указанной задачи остается нерешённой. Именно поэтому выбор темы диссертационной работы Брилевским А.И является несомненно **актуальным**, и, кроме того, отвечает общей экономической политике государства, направленной на снижение зависимости от импорта и стимулирование развития отечественного производства.

Материалы диссертации изложены на 139 страницах машинописного текста, и состоят из введения, пяти глав, заключения, включающего список основных результатов и библиографического списка, содержащего 194 наименования. Текст диссертационного исследования обладает адекватным иллюстративным материалом и включает в себя 69 рисунков, 14 таблиц и 5 приложений. С позиций поставленных диссертантом задач предложенная структура диссертации выглядит вполне оправданной.

Введение отражает структуру работы согласно требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук. В нём приводится общая характеристика проблемы исследования, обоснована актуальность выбранной темы, определены объект и предмет исследования, поставлена цель научного исследования, сформулированы задачи, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, приведены сведения об апробации результатов исследования, наличии публикаций по теме работы, личном вкладе автора, объёме и структуре работы.



В первой главе приводится качественный аналитический обзор литературных данных по теме работы, на основе анализа которого формулируются требования к магниевым сплавам, претендующим на применение в производстве биорезорбируемых имплантатов. При этом автор показывает не только современное состояние исследований биорезорбируемых материалов, но формулирует основные исследовательские тенденции, а также существующие проблемы.

Вторая глава посвящена описанию исследовательских методик, применявшихся в диссертационной работе. Представлен метод дифракции обратно рассеянных электронов как основа микроструктурных исследований, методики коррозионных, усталостных и коррозионно-усталостных испытаний, а также методика биомедицинских исследований, выполненных на базе научного партнера - Самарского государственного медицинского университета.

В третьей главе представлено исследование выбранных сплавов по целому ряду свойств различными экспериментальными методами. Этапы исследования включали в себя механические и коррозионные испытания, а также тестирование *in vivo* и *in vitro*. При этом на каждом этапе исследований диссертантом осуществлялся отбор образцов по критериям выбранного параметра. Конечной задачей части диссертационного исследования, изложенного в третьей главе, являлся отбор наиболее перспективного сплава, которым оказался сплав номинального состава $Mg-1Zn-0.2Ca$. Именно на нем диссертантом были проведены дополнительные масштабные исследования.

Четвертая глава посвящена детальному экспериментальному изучению наиболее перспективного с точки зрения механических и функциональных свойств сплава номинального состава $Mg-1Zn-0.2Ca$. Данное исследование включало в себя микроструктурный анализ методом дифракции обратно рассеянных электронов, усталостные испытания на воздухе и в растворе Рингера, температурно-скоростные механические испытания с использованием метода акустической эмиссии, который дает вполне однозначную информацию о поведении дефектного ансамбля в процессе пластической деформации. По результатам проведенных исследований была предложена карта динамической рекристаллизации указанного сплава.

В пятой главе приводятся данные по разработке технологии изготовления полуфабриката в виде прутка. Стоит особо отметить, что диссертант делает осознанный и обоснованный выбор технологии, в частности отмечает, что для массового изготовления имплантатов цилиндрического типа применение изотермической прокатки после всесторонней изотермическойковки не рационально, поэтому ее следует заменить на экструзию. Кроме того, диссертант приводит детальные исследования свойств нового

полуфабриката сплава Mg-1Zn-0.2Ca в виде прутка.

Подводя итоги своей диссертационной работы, в заключении, автор формулирует основные результаты и выводы, которые являются вполне обоснованными.

Приложение к диссертационной работе содержит регистрационное удостоверение на медицинское изделие «Имплантаты для остеосинтеза биodeградируемые» и акты внедрения результатов диссертационного исследования в учебный процесс и производственную деятельность.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, обеспечивается корректностью постановки решаемой задачи, её физической обоснованностью, соблюдением материаловедческой парадигмы об взаимосвязи структуры и свойств материала, а также большим объемом экспериментальных данных, полученных с применением современных методов исследований. Результаты экспериментальных исследований хорошо согласуются между собой и не противоречат известным научным представлениям. Результаты работы прошли апробацию на всероссийских и международных конференциях и опубликованы в 7 статьях, входящих в

перечень ведущих рецензируемых научных журналов и индексируемых в международных системах цитирования Scopus и Web of Science.

Научная новизна проведенного исследования не вызывает сомнений и аргументируется следующими тезисами:

1) Для группы перспективных магниевых сплавов были применены различные виды термомеханической обработки, включая инновационные схемы, ранее не использовавшиеся для них. Это позволило получить новые данные о параметрах их микроструктуры, а также механических, коррозионных и биомедицинских свойствах.

2) Впервые показано, что применение *именно* комбинированной термомеханической обработки позволяет получить для выбранного магниевого сплава требуемый для изготовления биорезорбируемых имплантатов комплекс свойств;

3) 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, при этом для выбранного магниевого сплава установлены температурно-скоростные зависимости диаграмм растяжения и построена карта динамической рекристаллизации в зависимости от температурно-скоростных режимов деформирования.

Теоретическая и практическая значимость проведенного диссертационного исследования состоит в следующем:

1) Разработана схема комбинированной термомеханической обработки, позволяющая в перспективном магниевом сплаве получить необходимый комплекс функциональных свойств для производства биорезорбируемых имплантатов.

2) Построенная по предложенной методике карта динамической рекристаллизации может быть использована для отработки технологий деформационной обработки магниевых сплавов в лабораторных и промышленных условиях.

3) Разработаны технические условия на деформируемые магниевые медицинские сплавы, а также технологическая схема для производства биорезорбируемых имплантатов на основе магниевых сплавов, которые внедрены в первое в Российской Федерации производство, а полученные результаты исследования - в учебный процесс.

Замечания по диссертационной работе состоят в следующем:

1. 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.

2. 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.

3. 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.

4. 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.

Сделанные замечания носят уточняющий характер и не снижают очевидных достоинств и общей положительной оценки диссертационной работы Брилевского А.И.

Общая оценка диссертационной работы

В целом, диссертационная работа Брилевского А.И. представляет собой комплексное экспериментальное исследование, объединенное единым замыслом в рамках выбранной цели и поставленных задач. Структура диссертации выглядит логично и естественно. Она содержит исчерпывающий иллюстративный материал и хорошо оформлена. Основные научные результаты диссертации опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК Министерства науки и высшего образования РФ и доложены на Международных и Всероссийских конференциях. Содержание диссертации соответствует указанной специальности, а содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертации.

Таким образом, диссертация Брилевского А.И. на тему "Разработка магниевого сплава с повышенным комплексом механических и функциональных свойств для производства биорезорбируемых имплантатов" является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится новое решение актуальной задачи - создание биорезорбируемых имплантатов из магниевых сплавов, что имеет существенное значение для материаловедения. По своей актуальности, новизне, научно-практической значимости диссертация Брилевского А.И. соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук согласно пп. 9-14 «Положение о присуждении ученых степеней», утверждённого Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (в редакции от 16 октября 2024 г.), а её автор достоин присуждения искомой ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 - "Материаловедение".

Даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с защитой Брилевского Александра Игоревича, и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент:

Профессор кафедры «Технологии и системы автоматизированного проектирования металлургических процессов» ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» доктор технических наук (05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов), профессор

Тел. +7 (499) 158-4333, E-mail: s.betsofen@gmail.com
125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4

Бецофен Сергей Яковлевич

27.11.2024

Подпись Бецофена С.Я. удостоверяю

Зам. нач. Ученого совета МАН

Бецофен С.Я.