



УТВЕРЖДАЮ

Директор ИФПМ СО РАН
Профессор РАН, д.т.н.

Е.А. Колубаев

22 ноября 2024 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

по диссертационной работе Брилевского Александра Игоревича «Разработка магниевого сплава с повышенным комплексом механических и функциональных свойств для производства биорезорбируемых имплантатов», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 – «Материаловедение»

Актуальность диссертационной работы

Диссертационная работа Брилевского А.И. посвящена разработке оптимального по структурно-фазовому состоянию и по элементному составу нового магниевого сплава, обладающего всеми необходимыми свойствами, для производства биорезорбируемых имплантатов. Работа также **актуальна** в связи с прекращением поставки на рынок медицинских изделий РФ немецких растворимых имплантатов Magnezix®. Основным преимуществом биорезорбируемых имплантатов является отсутствие необходимости повторных операций по их удалению после выполнения процесса заживления, что уменьшает срок нетрудоспособности пациента, снижает затраты на лечение и нагрузку на хирургов. Исходя из вышесказанного, искомая работа соответствует сразу двум направлениям Стратегии НТР РФ: «Переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам...» и «Переход к персонализированной медицине, высокотехнологичному здравоохранению и технологиям здоровьесбережения...» и, безусловно, относится к числу **актуальных** исследований.

Оценка структуры и содержания работы

Диссертационная работа, изложенная на 139 страницах, состоит из введения, пяти глав, заключения в форме основных результатов и выводов, содержит 60 рисунков, 24 таблицы и список литературы из 194 наименований.

Введение посвящено общей характеристике проблемы исследования, обоснована актуальность работы, определены объект и предмет исследования, сформулированы цель и задачи исследования, указана научная новизна, теоретическая и практическая значимость, приведена информация об апробации

С отзывом ознакомлен 28.11.2024г. *А.И. Брилевский*

"28" 11. 2024г.

Вход №

БК

результатов исследования, представлен список публикаций, указан личный вклад автора.

В первой главе приведен аналитический обзор литературных данных, сформулированы требования к магниевым сплавам для применения в производстве биорезорбируемых имплантатов.

Вторая глава – методическая, здесь приведены данные об исследуемых материалах – сплавах систем Mg-Zn-Ca, Mg-Zn-Y (с LPSO-фазой) и Mg-Zn-Zr, рассмотрены методы исследования и особенности их применения в данной работе.

Третья глава посвящена описанию исследования и анализу результатов выбранных семи магниевых сплавов различного элементного состава с целью определения наиболее перспективного сплава для практического применения. Выбран сплав Mg-1Zn-0.2Ca.

В четвертой главе приведены результаты детальных исследований выбранного перспективного для практических применений сплава данного состава, а именно, Mg-1Zn-0.2Ca.

В пятой главе приводятся данные по разработке процесса и технологии изготовления полуфабриката из выбранного сплава в виде прутка. Приведена технологическая цепочка изготовления биорезорбируемых имплантатов из сплава Mg-1Zn-0.2Ca. Представлены результаты исследования свойств изготовленного в форме прутка сплава. По результатам сделано заключение, что изготовленные по разработанной технологии с предложенной термообработкой полуфабрикаты в виде прутков сплава Mg-1Zn-0.2Ca соответствуют критериям Технических условиях ТУ 24.45.30-001-55914968-2022.

По результатам диссертационного исследования сформулированы по результатам работы основные выводы, которые приведены в **заключении**.

В приложении приведены титульный лист ТУ 24.45.30-001-55914968-2022 «Сплавы магниевые деформируемые медицинские», сертификат соответствия производства медицинских изделий ГОСТ ISO 13485-2017, регистрационное удостоверение на медицинское изделие «Имплантаты для остеосинтеза биodeградируемые» и акты внедрения результатов диссертационного исследования.

Практическая значимость

Диссертационная работа А.И. Брилевского обладает следующей очевидной практической значимостью.

1. Разработаны Технические условия на деформируемые магниевые медицинские сплавы, а также технологическая схема производства биорезорбируемых имплантатов, которые уже использованы в первом в РФ производстве биорезорбируемых имплантатов на основе магниевого сплава.
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 и применены режимы всесторонней изотермическойковки, позволяющие применительно к сплаву Mg-1Zn-0.15Ca обеспечить для нужд хирургии предъявляемый к биорезорбируемым материалам комплекс свойств.

Научная новизна диссертации

Автором диссертации на основе масштабных исследований широкого набора магниевых сплавов, прошедших различные режимы термомеханических обработок, в том числе по схемам интенсивных пластических деформаций, с использованием современного оборудования получены важные для разработки отечественных медицинских изделий результаты, обладающих научной новизной.

1. Получены впервые сведения о параметрах микроструктуры, механических, коррозионных и биомедицинских свойствах для сплавов систем легирования Mg-Zn-Ca, Mg-Zn-Y, Mg-Zn-Zr со структурным состоянием, сформированными с применением методов интенсивной пластической деформации, как экструзия, равноканальное угловое прессование, всесторонняя изотермическая ковка и их сочетаниями.

2. Установлено что применение комбинированной обработки, сочетающей всестороннюю изотермическую ковку с изотермической прокаткой, для малолегированного сплава Mg-1Zn-0.15Ca, содержащего исключительно элементы, присутствующие в организме человека, можно достичь требуемый для биорезорбируемых имплантатов комплекс свойств.

3. Впервые установлено, что применительно к сплавам Mg-Zn-Ca точка, соответствующая экстремуму на зависимости медианной частоты сигналов акустической эмиссии от деформации, совпадает с интенсификацией процесса динамической рекристаллизации.

4. Для сплава Mg-1Zn-0.15Ca впервые построена карта динамической рекристаллизации в координатах: температура, скорость деформации, степень деформации.

Степень обоснованности научных положений, достоверность результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Автором при выполнении диссертационной работы применены хорошо зарекомендовавшие себя методы испытаний и исследований, такие как механические испытания на растяжение, исследования структуры (РЭМ, EBSD-анализ и др.), коррозионные и усталостно-коррозионные испытания с применением современного поверенного оборудования. Коррозионные испытания проводили двумя независимыми методами (по выходу водорода и гравиметрическим способом). Все это в сочетании с продуманной общей логикой плана выполнения работы позволило автору получить результаты, обладающие высокой достоверностью и новизной, а сделанные на их основе выводы – обоснованными. Положения диссертации, выносимые на защиту, обоснованны и подтверждаются результатами работы.

Соответствие паспорту специальности и отрасли наук

Диссертационная работа А.И. Брилевского соответствует следующим пунктам паспорта специальности 2.6.17 – «Материаловедение», отрасль науки – технические науки.

Пункт 4. Разработка физико-химических и физико-механических процессов формирования новых металлических, неметаллических и композиционных материалов, обладающих уникальными функциональными, физико-механическими, биомедицинскими, эксплуатационными и технологическими свойствами, оптимальной себестоимостью и экологической чистотой;

Пункт 10. Разработка способов повышения коррозионной стойкости металлических, неметаллических и композиционных материалов в различных условиях эксплуатации;

Пункт 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.

Рекомендации

Полученные в работе А.И. Брилевского результаты могут быть использованы в организациях, занимающихся разработкой материалов для биорезорбируемых имплантатов, таких как Институт металлургии и материаловедения им. А. А. Байкова РАН (г. Москва), «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (г. Москва), Уфимский университет техники и технологий (г. Уфа), Институт физики прочности и материаловедения СО РАН (г. Томск), Институт химии ДВО РАН (г. Владивосток) и др.

Замечания по работе

1. 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.

2. 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.

Сделанные замечания имеют дискуссионный или уточняющий характер и не снижают общей высокой оценки диссертации Брилевского А.И., которая представляет собой самостоятельную, законченную научно-квалификационную работу, результаты которой имеют большое значение как для фундаментальной, так и для прикладной науки.

Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертации. Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли апробацию на

10-ти научно-технических конференциях, опубликованы в 7-ми высокорейтинговых журналах, индексируемых Scopus и WoS и рекомендованных ВАК РФ.

Заключение

Диссертационная работа Брилевского А.И. «Разработка магниевого сплава с повышенным комплексом механических и функциональных свойств для производства биорезорбируемых имплантатов» соответствует научной специальности 2.6.17 – «Материаловедение», а также 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, Брилевский Александр Игоревич заслуживает присуждения степени кандидата технических наук.

Отзыв подготовлен **Шаркеевым Юрием Петровичем**, главный научный сотрудник лаборатории физики наноструктурных биокomпозитов ИФПМ СО РАН, доктор физико-математических наук, 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния», и **Просоловым Константином Александровичем**, научный сотрудник лаборатории физики наноструктурных биокomпозитов ИФПМ СО РАН, кандидат физико-математических наук, 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния».

Диссертация, автореферат диссертации и отзыв обсуждены 15.11.2024 г. на научном семинаре лаборатории физики наноструктурных биокomпозитов ИФПМ СО РАН, протокол № 22/24 от 15 ноября 2024 г.

Согласны на обработку персональных данных.

Председатель семинара, г.н.с. лаборатории физики
наноструктурных биокomпозитов ИФПМ СО
РАН, д. ф.-м. н., профессор

 Шаркеев Юрий Петрович

Научный сотрудник лабора
наноструктурных биокomпо
РАН, к. ф.-м. н.

СО

 Просолов Константин Александрович

Секретарь семинара, научны
лаборатории физики наност
биокomпозитов ИФПМ СО Р



Ерошенко Анна Юрьевна

22.11.2024

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук (ИФПМ СО РАН), 634055, г. Томск, пр. Академический, 2/4.

Телефон: +7 (3822) 286–941. Факс: +7 (3822) 49-25-76

E-mail: root@ispms.tomsk.ru, вебсайт: <http://www.ispms.ru>