



УТВЕРЖДАЮ

Проректор НИТУ МИСИС

по науке и инновациям

М.Р. Филонов

« 22 » 05 2024г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Худододовой Ганджины Дастамбуевны на тему «Механические свойства и коррозионная стойкость биорастворимых наноструктурных магниевых сплавов системы Mg-Zn-Ca», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.6.6. Нанотехнологии и наноматериалы

Актуальность диссертационной работы

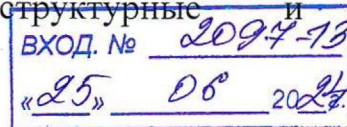
Диссертационная работа Худододовой Г.Д. посвящена улучшению прочностных и коррозионных свойств магниевых сплавов системы Mg-Zn-Ca, которые являются перспективными для применения в качестве материала для изготовления медицинских имплантатов. Актуальность выбранной темы обусловлена большим вниманием со стороны исследователей к разработке биорастворимых металлических материалов применительно к изготовлению медицинских имплантатов, поскольку в этом случае не требуется повторной операции по удалению отслужившего имплантата.

Постановленную задачу автор решает за счет формирования наноструктурных состояний методом интенсивной пластической деформации, а также путем изучения влияния нанодисперсных частиц и нанодвойников на прочностные и коррозионные свойства магниевых сплавов системы Mg-Zn-Ca.

Структура и содержание работы

Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов, списка литературы из 149 наименований, изложена на 100 страницах, содержит 41 рисунок и 6 таблиц. Содержание и структура диссертации соответствуют поставленной цели исследования и находятся в логическом единстве.

В первой главе автор проводит анализ текущего состояния исследований в области современных биорезорбируемых материалов. Рассмотрены принципы легирования магниевых сплавов для изготовления имплантатов. Представлены методы ИПД, позволяющие получать наноструктурные



ультрамелкозернистые состояния в различных сплавах, проанализировано формирование УМЗ структур в биомедицинских магниевых сплавах.

В результате выполненного анализа научно-технической литературы поставлена цель работы и сформулированы задачи исследований.

Вторая глава диссертации посвящена описанию использованных материалов, методов формирования ультрамелкозернистой структуры, методик исследования структуры, прочностных, усталостных и коррозионных свойств материала.

В третьей главе приведены результаты исследований влияния интенсивной пластической деформации кручением и последующих отжигов на структуру и свойства магниевых сплавов Mg-1Zn-0,2Ca, Mg-1Ca и Mg-1Zn.

Показано, что в исходном состоянии в структуре сплава Mg-1Zn-0,2Ca и Mg-1Ca присутствуют выделения частиц вторых фаз. При последовательном применении интенсивной пластической деформации кручением и различных отжигов происходит уменьшение структурных элементов до наноразмеров, что ведет к повышению прочностных характеристик сплавов Mg-1Zn-0,2Ca и Mg-1Ca.

Также представлены результаты исследований усталостных свойств магниевого сплава Mg-1Zn-0,2Ca. Показано, что формирование наноструктурного состояния позволило значительно повысить усталостные свойства, что перспективно для применения в медицинских изделиях, испытывающих значительные циклические нагрузки.

В четвертой главе представлены результаты исследований структуры и свойств объемных заготовок из сплавов Mg-1Zn-0,2Ca и Mg-1Zn, полученных методом равноканального углового прессования.

Показано, что применение РКУП способствует сильному измельчению зеренной структуры, приводит к появлению в структуре нанодвойников и выделений нанодисперсных частиц вторых фаз. Сравнительные испытания механических свойств продемонстрировали повышенный предел прочности 283 МПа в РКУП образцах сплава Mg-1Zn-0,2Ca по сравнению со значением 127 МПа в исходном материале с крупнозернистой структурой.

В пятой главе представлены коррозионные свойства наноструктурных магниевых сплавов Mg-1Zn-0,2Ca, Mg-1Ca и Mg-1Zn, полученных методом ИПДК и в объемных образцах сплава Mg-1Zn-0,2Ca, подвергнутых РКУП.

Показано, что коррозионные свойства зависят от формирования нанодисперсных частиц анодного или катодного типа. Так, корродирование поверхности сплава Mg-1Zn-0,2Ca происходит по катодной реакции, а поверхности сплава Mg-1Ca по анодной реакции. В сплаве Mg-1Zn наиболее коррозионностойким состоянием является исходное состояние, поскольку в

сплаве отсутствуют частицы вторых фаз, которые формируют гальванические пары с матрицей.

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации.

В качестве наиболее важных научных результатов диссертационной работы, определяющих ее новизну следует отметить следующие:

1. Установлены режимы ИПДК, позволяющие сформировать наноструктурное состояние в сплаве Mg-1Zn-0,2Ca со средним размером зерна 90 нм, содержащее нанодисперсные частицы $\text{Ca}_2\text{Mg}_6\text{Zn}_3$, образующиеся в процессе интенсивной пластической деформации кручением, отличающиеся термической стабильностью до 250°C с одновременным повышением предела прочности и предела усталостной выносливости в 1,8 и 1,2 раза, соответственно.

2. Предложены режимы равноканального углового прессования магниевого сплава Mg-1Zn-0,2Ca, ведущие к формированию структуры со средним размером зерна 2 мкм, содержащей нанодисперсные частицы размером 20 нм и нанодвойники, что обеспечило повышение прочности и более низкую скорость коррозии по сравнению с исходным гомогенизированным состоянием сплава.

3. Установлены закономерности коррозии в наноструктурных ИПДК образцах Mg-1Zn-0,2Ca, Mg-1Ca, Mg-1Zn и показана возможность управления их коррозионными свойствами за счет формирования нанодисперсных частиц анодного или катодного типа, образующих гальваническую пару с матрицей.

Степень достоверности результатов исследования

Достоверность и надежность обеспечена непротиворечивостью результатов с основными закономерностями, выявленными при анализе литературных данных, применением современного оборудования, публикацией основных результатов в рецензируемых научных журналах, их обсуждением на ведущих российских и международных конференциях.

Теоретическая и практическая значимость результатов, полученных автором диссертационной работы, заключается в следующем:

Определены требования к структуре магниевого сплава Mg-Zn-Ca, которые ведут к высоким прочностным свойствам с сохранением коррозионной стойкости.

Полученные результаты представляют непосредственный интерес для разработки опытно-промышленных технологий изготовления медицинских имплантатов из УМЗ магниевых сплавов системы Mg-Zn-Ca.

Результаты исследований показали, что в сплаве Mg-1Zn-0,2Ca формирование УМЗ структуры, содержащей нанодисперсные частицы и нанодвойники, обеспечивает предел прочности более 280 МПа, а скорость

коррозии 0,65 мм/год, что является перспективным для изготовления медицинских имплантатов для челюстно-лицевой хирургии и травматологии.

Соответствие паспорту специальности и отрасли наук.

Диссертация соответствует следующим пунктам паспорта специальности 2.6.6. «Нанотехнологии и наноматериалы» (отрасль науки – технические, химические) по п. 1.2. «Исследование влияния параметров элементов структуры на свойства наноматериалов»; по п. 1.5. «Исследование взаимосвязи химического и фазового составов, структурного состояния с физическими, механическими, химическими, технологическими, эксплуатационными и другими свойствами наноматериалов».

Замечания по диссертационной работе

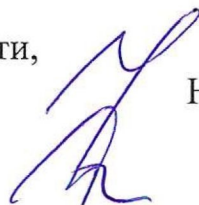
1. В названии диссертации употреблен термин «наноструктурные магниевые сплавы». Насколько целесообразно использование этого термина, поскольку в диссертации рассмотрены также структуры и свойства сплавов со средним размером зерна более 1 мкм.
2. В диссертации отсутствует обоснование выбора сплавов Mg-1Zn-0,2Ca, Mg-1Ca, Mg-1Zn в качестве материалов для исследования.
3. Микротвердость ИПДК и РКУП образцов сплава Mg-1Zn-0,2Ca составили примерно 100 МПа и 70 МПа, соответственно, т.е. отличаются примерно в 1,5 раза. Тогда как средний размер зерен составил примерно 90 нм и 2 мкм, соответственно, т.е. отличается более чем в 20 раз. Чем вы можете объяснить нарушение корреляции между средним размером зерна и твердостью материала.
4. Из текста диссертации не ясно является ли измельчение зеренной структуры достаточным объяснением для повышения предела выносливости ИПДК образцов сплава Mg-1Zn-0,2Ca?
5. В пункте 3 заключения говорится о возможности управления коррозионными свойствами сплава за счет формирования нанодисперсных частиц анодного или катодного типа, но в диссертации не указаны электродные потенциалы исследованных частиц относительно магния.

Заключение

В целом, по научному уровню полученных результатов, содержанию и оформлению представленная диссертационная работа Худододовой Г.Д. соответствует критериям п.п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением правительства Российской Федерации 24 сентября 2013 г., №842 (в редакции Постановления Правительства РФ от 25.01.2024 г. №62), а ее автор Худододова Ганджина Дастамбуевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.6. «Нанотехнологии и наноматериалы».

Настоящий отзыв был обсужден и утвержден на заседании кафедры металловедения и физики прочности НИТУ МИСИС (Протокол № 11 от 21 мая 2024 года).

Заведующий кафедрой
Металловедения и физики прочности,
д.т.н., профессор



Никулин С.А.

Адрес организации: 119049, г. Москва Ленинский пр-т., 4
Телефон: +7 (495) 955-00-32
E-mail: kancela@misis.ru
<https://misis.ru/>