

ОТЗЫВ

официального оппонента Мерсона Дмитрия Львовича 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 темы исследования

На сегодняшний день 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 широкое использование. Повышение прочностных свойств магния возможно за счет легирования, например магнием и кальцием, или за счет измельчения зеренной структуры. Однако прочностные и коррозионные свойства наноструктурных и ультрамелкозернистых магниевых сплавов системы Mg-Zn-Ca до конца не изучены и представляют особый научный интерес.

Структура и содержание работы

Диссертационная работа, изложенная на 100 страницах, состоит из введения и пяти глав, содержит 41 рисунок, 6 таблиц и список литературы из 149 наименований.

Во введении диссертационной работы обоснована актуальность работы, сформулирована цель и задачи, представлены научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, положения, выносимые на защиту, приведены сведения о личном вкладе автора.

В первой главе представлен обзор научно-технической литературы в области биорастворимых магниевых сплавов. Рассмотрены основные легирующие элементы, используемые для легирования магниевых сплавов. Описаны методы интенсивной пластической деформации, используемые для формирования наноструктурных и ультрамелкозернистых состояний в металлических материалах.

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

Третья глава посвящена изучению структуры и механических свойств магниевых сплавов Mg-1%Zn-0,2%Ca, Mg-1%Ca и Mg-1%Zn подвергнутых интенсивной пластической деформации кручением и термической обработке.

Показано, что в исходном гомогенизированном состоянии сплава Mg-1%Zn-0,2%Ca и Mg-1%Ca были обнаружены частицы вторых фаз, расположенные как внутри, так и на границах зерен, тогда как в сплаве Mg-1%Zn частиц выявлено не было. Применение интенсивной пластической деформации кручением позволило сформировать в данных сплавах средний размер зерен 90-250 нм. С помощью

просвечивающей электронной микроскопии и рентгенофазового анализа был идентифицирован фазовый состав частиц: в сплаве Mg-1%Zn-0,2%Ca – $\text{Ca}_2\text{Mg}_6\text{Zn}_3$, в сплаве Mg-1%Ca - Mg_2Ca . В сплаве Mg-1%Zn ни тех, ни других частиц не обнаружено.

В этой же главе представлены прочностные свойства ИПДК образцов трех сплавов и усталостные свойства сплава Mg-1Zn-0,2Ca.

В четвертой главе приведены параметры структуры и механические свойства объемных заготовок в виде прутков, полученных методом равноканального углового прессования в сплавах Mg-1Zn-0,2Ca и Mg-1Zn. Определены средние размеры зерна после различного количества проходов равноканального углового прессования. В РКУП образцах сплава Mg-1Zn-0,2Ca установлен средний размер зерен 2 мкм, обнаружены нанодисперсные частицы размером 20 нм и нанодвойники деформации шириной 400 нм. Показано, что обработка методом РКУП позволила достичь в сплаве Mg-1Zn-0,2Ca предела прочности 280 МПа, при пластичности 15%, а в сплаве Mg-1Zn предела прочности 210 МПа при пластичности 31%.

В пятой главе исследованы коррозионные свойства ИПДК образцов сплавов Mg-1Zn-0,2Ca, Mg-1Ca, Mg-1Zn, а также РКУП образцов сплава Mg-1Zn-0,2Ca.

Установлено, что в сплаве Mg-1Zn-0,2Ca коррозия поверхности идет по катодной реакции, вследствие образования гальванических пар с тройными частицами катодного типа, а в сплаве Mg-1Ca коррозия идет по анодной реакции, вследствие формирования гальванических пар с двойными частицами анодного типа. В ИПДК образцах сплава Mg-1Zn наблюдалась наименьшая скорость коррозии, вследствие отсутствия нанодисперсных частиц.

На основании этих исследований был сделан вывод о возможности управления коррозионными свойствами за счет формирования нанодисперсных частиц анодного или катодного типа.

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 $\text{Ca}_2\text{Mg}_6\text{Zn}_3$, образующееся в процессе интенсивной пластической деформации кручением, отличающееся 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, приводящие к формированию структуры со средним размером зерна 2 мкм, содержащей нанодисперсные частицы размером 20 нм и двойниковые границы, 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 обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

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

Теоретическая и практическая значимость работы

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 работы показали, что в сплаве Mg-1Zn-0,2Ca формирование УМЗ структуры, содержащей нанодисперсные частицы размером менее 20 нм, обеспечивает предел прочности на уровне 280 МПа, а скорость коррозии 0,65 мм/год, что является перспективным для изготовления медицинских имплантатов для челюстно-лицевой хирургии и травматологии.

Замечания по работе

К диссертационной работе есть замечания, большинство из которых касается методической части работы.

- 1). Не приведены многие конкретные марки используемого оборудования (печь Naberterm, машина Instron и др.);
- 2). В работе говорится, что РКУП при каждой температуре проводили в два прохода, но не сказано по какому маршруту;
- 3). Методика проведения коррозионных испытаний недостаточно описана и обоснована: не объясняется, почему коррозионные испытания проведены при 36 °С, а не 37 °С, как это делает большинство исследователей; не приведены данные об объеме раствора Рингера, о наличии циркуляции коррозионной среды; не проводились измерения pH среды, что является принципиальным моментом; замена среды один раз в 7 суток – намного реже общепринятых норм – раз в сутки или двое.
- 4). Ссылка 99 не имеет выходных данных;
- 5). На стр. 64 сказано, что для сплава Mg-1Zn-0,2Ca в работе впервые достигнуты столь высокие механические характеристики (РКУП 8 проходов), однако в работе *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 для аналогичного сплава намного раньше были получены аналогичные результаты после простой экструзии.

- 6). Сравнение данных по скорости коррозии (табл. 6) с результатами диссертационной работы Н.С. Мартыненко для сплава WE43 не корректно, т.к. они определены на разной временной базе.
- 7). При объяснении результатов коррозионных испытаний используется понятие электродные потенциалы различных частиц, но нигде в диссертации не приводятся количественные характеристики электродных потенциалов этих частиц и не приводится информация о том, как они определяются.

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

Заключение

По научному уровню полученных результатов, содержанию и оформлению представленная диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям п.п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденных Постановлением правительства РФ от 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 научной специальности 2.6.6. Нанотехнологии и наноматериалы.

Официальный оппонент:

Директор Научно-исследовательского института прогрессивных технологий, профессор кафедры Нанотехнологии, материаловедение и механика федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тольяттинский государственный университет», доктор физико-математических наук, профессор

Мерсон Дмитрий Львович

Адрес: Белорусская, д. 14, 445020, г. Тольятти

Телефон (рабочий): +7(8482) 44-93-03,

Адрес электронной почты: d.merson@tltsu.ru

Я, Мерсон Дмитрий Львович, даю свое согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

