

УТВЕРЖДАЮ

И. о. проректора по научной работе,
д.т.н., профессор



(подпись)

Ю.А. Равикович

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

по диссертационной работе Мягких Павла Николаевича на тему «Влияние структурообразующих факторов на кинетику процессов деградации магниевого сплава медицинского назначения ZX10», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.8. - «Физика конденсированного состояния»

Актуальность диссертационной работы

Диссертационная работа Мягких П.Н., как следует из ее названия, посвящена изучению влияния структурообразующих факторов на кинетику процессов деградации магниевого сплава медицинского назначения ZX10. Биорезорбируемые магниевые сплавы – перспективный кластер материалов для временных хирургических имплантатов, традиционно изготавлиющихся из сплавов титана и нержавеющей сталей, которые после заживления костных тканей необходимо извлекать. Основным преимуществом магниевых сплавов, является способность растворяться в теле человека, что позволяет исключить необходимость повторных операций по удалению имплантатов, выполнивших свою основную функцию.

Разработка изделий из таких материалов требует досконального знания о влиянии микроструктуры на особенности растворения в условиях человеческого тела, а также о кинетике и стадийности этого процесса. Существует множество работ, посвященных влиянию кристаллографии на процессы, происходящие с магнием и его сплавами в агрессивных средах, однако, в зависимости от условий эксперимента различные научные группы получают не согласующиеся друг с другом и даже противоположные результаты. По поводу частиц вторичных фаз и примесных включений есть устоявшееся мнение, что влияние конкретной частицы обусловлено ее электродным потенциалом. Фазы и примеси, имеющие более положительный потенциал, чем магний, провоцируют интенсивное растворение матрицы, а

более отрицательный (например, интерметаллиды Mg_2Ca) – напротив, растворяются в первую очередь сами, защищая таким образом матричный материал.

Полученные в работе Мягих П.Н. результаты заставляют пересмотреть традиционные взгляды на влияние частиц вторичных фаз, т.к. ярко демонстрируют, что даже частицы более положительного потенциала могут защищать материал вокруг себя за счет образования зон улучшенной пассивации. Поскольку испытания проводились в условиях, идентичных условиям внутри человеческого организма, а в качестве материала для исследования выступал сплав ZX10, из которого планируется выпускать отечественные биорезорбируемые имплантаты, полученные в диссертационной работе результаты позволяют утверждать, что данные о влиянии как частиц вторичных фаз и включений, так и кристаллографической ориентации на процессы растворения сплава актуальны непосредственно для условий эксплуатации реальных изделий из биорезорбируемых магниевых сплавов, а именно, хирургических имплантатов для остеосинтеза.

Резюмируя, можно заключить, что работа посвящена исследованию влияния критически важных, но недостаточно изученных факторов на процессы растворения перспективного биорезорбируемого сплава в условиях, идентичных условиям эксплуатации реальных медицинских изделий. Всё это определяет актуальность диссертационной работы.

Общая характеристика работы

Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, заключения и списка литературы. Первой главой является литературный обзор по теме. Отдельно стоит отметить, что в обзоре автор уделит большое внимание методологии проведения экспериментов на магниевых биорезорбируемых сплавах. Во второй главе подробно описаны исследуемые материалы, методика и применяемое оборудование. Третья глава посвящена установлению общих количественных и качественных характеристик процесса растворения в условиях, близких к условиям человеческого организма, включая стадийность и кинетику этого процесса. В четвертой главе автор уделяет внимание прецизионному исследованию структурообразующих факторов на процесс растворения. В пятой, на основании полученных данных, автором было сделано предположение о возможности использования эффекта образования зон улучшенной пассивации для защиты материала от агрессивной среды, а также приведено экспериментальное подтверждение этой гипотезе. Таким образом, структура диссертации логична и в ней явно прослеживается системный подход к построению экспериментальных работ.

Научная новизна диссертации

Автором диссертации впервые с использованием комплекса передовых методик были получены важные для разработки отечественных медицинских изделий сведения. Во-первых, представленные в третьей главе результаты позволяют судить о влиянии состояния материала (литой и после термомеханической обработки) на качественные (морфология повреждений) и количественные (скорость растворения, глубина и количество очагов повреждений), а также, что важно, динамические (стадийность и кинетика) характеристики процесса растворения. Эти сведения представляют ценность, поскольку демонстрируют, как процесс коррозии ведет себя со временем в условиях, близких к условиям эксплуатации реальных медицинских изделий. Во-вторых, данные, приведенные в четвертой главе, позволяют четко проследить влияние кристаллографической ориентации на процесс растворения и образование повреждений специфичного вида, а также утверждать, что традиционная теория, касающаяся влияния частиц вторичных фаз и включений не вполне справедлива, относительно примененных в работе материалов и условий, близких к условиям человеческого организма. На основе этого автор, в пятой главе предлагает оригинальный механизм ингибирования процесса растворения, который нашел экспериментальное подтверждение, что открывает перспективы его использования на практике.

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

Автором на протяжении всей экспериментальной работы использовались хорошо зарекомендовавшие себя методы исследования структуры, такие как EBSD-анализ, энергодисперсионная спектрометрия, рентгенофазовый анализ и др. Также, при проведении стендовых лабораторных испытаний автором были использованы специфичные *in-situ* методы для определения кинетики процесса растворения и особенностей протекания процесса растворения в определенных областях (например, в местах расположения частиц вторичных фаз и включений) на поверхности материала. После испытаний, автор работы исследовал морфологию повреждений при помощи современных средств профилометрии: конфокальной лазерной сканирующей микроскопии и атомно-силовой микроскопии. Выбор этих средств позволил получать точные 3D-модели поверхности и прецизионно определить глубину и характер повреждений.

Применение современной аппаратуры и выбор наиболее эффективных методов исследования является доказательством достоверности результатов, выводов и рекомендаций, представленных в диссертации.

Практическая значимость

Представленные в диссертации сведения являются важными для разработки отечественных хирургических имплантатов из магниевых сплавов. Изготовление таких изделий на территории РФ является необходимым, поскольку ранее подобные имплантаты завозились из-за рубежа, в частности из Германии, и их поставки на сегодня прекращены. Таким образом, можно заключить, что практическая значимость работы обусловлена перспективой возможности импортозамещения инновационного продукта медицинского назначения.

Соответствие паспорту специальности и отрасли наук

Диссертация соответствует следующим пунктам паспорта специальности 1.3.8. «Физика конденсированного состояния», отрасль науки – технические науки:

4) Разработка экспериментальных методов изучения физических свойств и создание физических основ промышленной технологии получения материалов с определенными свойствами;

6) Установление закономерностей влияния технологии получения и обработки материалов на их структуру, механические, химические и физические свойства, а также технологические свойства изделий, предназначенных для использования в различных областях промышленности и медицины.

Из этого следует, что соискатель может претендовать на степень кандидата технических наук по специальности 1.3.8. «Физика конденсированного состояния».

Замечания и недостатки работы

1. Несмотря на то, что в работе был использован сплав в двух состояниях: литом и ультрамелкозернистом, не все эксперименты были поставлены на обоих материалах.
2. В схеме на рис.4.42 в одном из комментариев утверждается, что из-за легкости базисного скольжения градиент напряжений в плоскости базиса будет меньше, чем в нормальном этой плоскости направлении, это ошибочное утверждение, поскольку фактор Шмида для базисного скольжения равен нулю как в плоскости базиса, так и в нормальном ей направлении.

3. В работе выявлен важный в научном плане обусловленный кристаллографической ориентацией зерен механизм формирования нитевидных коррозионных поражений магниевых сплавов, однако в практическом плане не менее важным представляется оценка ориентационной зависимости общей коррозии, которую можно использовать для повышения сопротивления коррозии изделия с контролируемой текстурой.
4. Для демонстрации глубины повреждений в работе представлены карты высот, по которым довольно сложно понять точное значение глубины язв.
5. В диссертации встречается неточная терминология, так базисную плоскость и базисное скольжение называют базальной плоскостью и базальным скольжением, при этом направление нормали к этой плоскости предпочтительнее называть направлением оси «с» или [0001] направлением.

Заключение

Сделанные замечания имеют дискуссионный или уточняющий характер и не снижают общей высокой оценки диссертации. Диссертация Мягких П.Н. 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 8 научно-технических конференциях, опубликованы в 12 изданиях, 7 из которых в высокорейтинговых журналах, индексируемых Scopus и WoS, в т.ч. 5 рекомендованных ВАК РФ.

Диссертационная работа Мягких П.Н. на тему «Влияние структурообразующих факторов на кинетику процессов деградации магниевого сплава медицинского назначения ZX10» соответствует научной специальности 1.3.8. «Физика конденсированного состояния», а также п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением правительства Российской Федерации 24 сентября 2013 г., №842, а автор работы – присуждения степени кандидата технических наук.

Отзыв подготовлен д.т.н., профессором, профессором кафедры 1101 «Технологии и системы автоматизированного проектирования металлургических процессов» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский

авиационный институт» (национальный исследовательский университет)»,
Бецофеным Сергеем Яковлевичем.

Отзыв на диссертацию Мягких П.Н. на основании текста диссертации и
автореферата был обсужден и утвержден на заседании кафедры «Технологии
и системы автоматизированного проектирования металлургических
процессов» МАИ, протокол № 03/23 от 08 ноября 2023 г.

Заведующий кафедрой 1101

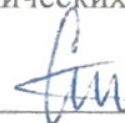


В.С. Моисеев

Автор отзыва дает согласие на обработку персональных данных.

Профессор кафедры 1101 «Технологии и системы автоматизированного
проектирования металлургических процессов» доктор технических наук

Бецофен Сергей Яковлевич



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Московский авиационный институт (национальный
исследовательский университет)», 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе,
д. 4

Тел. 8.(910)4599525 email s.betsofen@gmail.com

Дата: «21» ноября 2023 г.