

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Сафарян Анны Ивановны «Закономерности влияния обратимого легирования водородом и вакуумного ионно-плазменного азотирования на структуру и эксплуатационные характеристики компонентов эндопротезов суставов из циркониевого сплава Zr-2,5Nb», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – Материаловедение (машиностроение)

1. Актуальность

Количество заболеваний и повреждений суставов, требующих их замены на эндопротезы, растет с увеличением продолжительности жизни людей и общим старением населения.

Потребность в повышении выживаемости эндопротезов суставов постоянно растет, что связано с предотвращением повторных хирургических вмешательств, всегда связанных с рисками осложнений и нарушающих нормальное функционирование систем организма. Увеличение долговечности первичных эндопротезов, таким образом, напрямую связано с продолжительностью полноценной жизни человека. Все это способствует непрерывному развитию исследований и разработок новых биосовместимых материалов.

Требования к составу и свойствам материалов, которые могут быть использованы для изготовления таких ответственных элементов человеческого организма, как суставы, подвижность и хорошая работа которых во многом определяет качество жизни человека, задаются международными и российскими стандартами, в которых прописаны не только необходимые для использования свойства, но и свойства, ограничивающие использования материала внутри человеческого организма.

В настоящее время в медицине для изготовления высоконагруженных имплантируемых эндопротезов крупных суставов используются металлические, полимерные и керамические материалы. Из металлических материалов наибольшее распространение получили нержавеющие стали, сплавы кобальта с хромом и титановые сплавы.

Однако кроме перечисленных материалов перспективным материалом для изготовления эндопротезов крупных суставов является также и цирконий, не содержащий токсичных для организма человека элементов.

Титан и цирконий, а также сплавы на их основе являются одними из лучших металлических материалов для имплантатов, значительно превосходя по биологической совместимости, коррозионной стойкости в среде человеческого организма применяемые нержавеющие стали и сплавы на основе кобальта (системы Co-Cr-Mo).

При этом следует отметить, что циркониевые сплавы имеют существенные преимущества перед титановыми по некоторым важнейшим биохимическим (способность к остеоинтеграции) и физическим (меньшая магнитная восприимчивость, важная для современных медицинских технологий диагностики поведения имплантатов, в частности, МРТ) свойствам. Однако циркониевые сплавы уступают титановым по удельной прочности.

Титановая промышленность выпускает достаточную номенклатуру полуфабрикатов для их производства, удовлетворяющих требованиям стандартов.

Циркониевые же сплавы в настоящее время для производства медицинских имплантатов практически не используются, несмотря на указанные существенные преимущества перед другими материалами.

Химический состав, свойства и номенклатура производимых полуфабрикатов циркониевых сплавов обусловлены основной областью их применения – конструктивные элементы атомных реакторов. Поэтому главными требованиями к существующим сплавам являются малое сечение захвата тепловых нейтронов и высокая технологичность.

Для применения циркониевых сплавов в медицине и, особенно, для силовых имплантатов необходимо повышение их прочности, сопротивления усталости и износостойкости.

Очевидно, что решение этих проблем возможно лишь путем оптимизации химического состава сплавов и/или структуры производимых полуфабрикатов, а также применения новых технологий получения и обработки полуфабрикатов и изделий, модифицирования поверхности и формирования износ- и коррозионностойких покрытий.

В связи с вышеизложенным, диссертационная работа Сафарян А.И., посвященная использованию термоводородной обработки и вакуумного ионно-плазменного азотирования для повышения прочностных характеристик, износостойкости, сопротивления усталости и фреттинг-коррозии наиболее перспективного для изготовления эндопротезов циркониевого сплава Zr-2,5Nb, является, несомненно, актуальной, своевременной и востребованной в современных условиях.

Научные исследования в этом направлении применительно к циркониевым сплавам пока находятся на стадии лабораторных экспериментов и получения первых перспективных результатов.

2. Научная новизна

Научная новизна диссертационной работы состоит в следующем:

1. Показано, что легирование сплава Zr-2,5Nb водородом позволяет получать в процессе термоводородной обработки по разным режимам широкий спектр

структур с глобулярной или тонкопластинчатой α -фазой, обеспечивающей повышение прочностных характеристик сплава.

2. Установлено, что вакуумное ионно-плазменное азотирование сплава Zr-2,5Nb с различной структурой повышает коррозионную стойкость сплава.
3. Выявлено, что наилучшее сочетание триботехнических характеристик у сплава Zr-2,5Nb обеспечивают режимы термоводородной обработки, формирующие однородную структуру с глобулярной или тонкопластинчатой α -фазой, в сочетании с вакуумным ионно-плазменным азотированием при температуре 580°C. Эти режимы обеспечивают максимальную глубину диффузионной зоны азота в α -Zr и достаточную (≥ 3250 МПа) микротвердость поверхности.

3. Практическая значимость

1. Доказаны целесообразность и эффективность применения термоводородной обработки и вакуумного ионно-плазменного азотирования для изготовления имплантируемых медицинских изделий из циркониевого сплава Zr-2,5Nb.
2. Разработаны режимы термоводородной обработки сплава Zr-2,5Nb, позволяющие преобразовать неоднородную пластинчатую структуру исходного горячекатаного прутка в структуры с однородной глобулярной или тонкопластинчатой α -фазой различной степени дисперсности.
3. Разработаны режимы низкотемпературного (580-630°C) вакуумного ионно-плазменного азотирования сплава Zr-2,5Nb с глобулярной или пластинчатой структурами, позволяющие формировать глубокие (до 100 мкм) упрочненные поверхностные слои с протяженной (от 30 до 52 мкм) диффузионной зоной азота и градиентом микротвердости от 4100 (на поверхности) до 2000 (в сердцевине) МПа. Разработанные режимы позволили обеспечить стабильный и достаточный уровень характеристик коррозионной стойкости в физиологическом растворе.
4. Разработаны режимы комплексной технологии обработки головок эндопротезов тазобедренного сустава из циркониевого сплава Zr-2,5Nb, включающей термоводородную обработку и вакуумное ионно-плазменное азотирование, позволившие обеспечить комплекс свойств, превышающий свойства используемых в настоящее время эндопротезов из других материалов и необходимый для использования эндопротезов из циркониевого сплава в организме человека.
5. Изготовленные с использованием этой технологии опытные образцы головок успешно прошли триботехнические испытания на долговечность по ГОСТ 31621-2012. Результаты работы использованы ЗАО «Имплант МТ» для разработки технологий производства компонентов эндопротезов крупных суставов, что подтверждено соответствующим актом.

4. Достоверность полученных результатов

Все результаты получены на поверенном оборудовании с использованием лицензионного программного обеспечения, испытания и измерения проводились в соответствии с требованиями ГОСТ, достоверность результатов подтверждается хорошим совпадением экспериментальных данных, полученных различными методами, использованием методов математической статистики при обработке результатов.

5. Оценка работы

В целом диссертационная работа Сафарян А.И. производит очень хорошее впечатление, благодаря своей обоснованности, целостности, объему, важности и практической значимости полученных результатов, которые, несомненно, найдут свое применение в медицине, а, возможно и в других отраслях науки и техники.

Структура диссертации является общепринятой, оформлена в соответствии с требованиями ВАК. Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов по работе, списка литературы и приложения.

Материал диссертации изложен четко и технически грамотно.

Графические материалы достаточно полно отражают результаты исследований. На используемые заимствованные материалы приведены необходимые ссылки.

Диссертация обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты.

6. Замечания по диссертационной работе

1. В таблице 1.2, в которой показан химический состав циркония и его сплавов, используемых в атомных энергетических установках, приведены два вида Zr: иодидный и электролитический. Однако иодидный способ получения циркония реакторной чистоты использовался на начальных этапах организации циркониевого производства в России и сейчас практически не используется. Затем был выбран и используется до настоящего времени более дешевый способ получения циркония – электролитический.

Однако в последние годы происходит переход на магнетермический способ получения циркония с пониженным содержанием гафния, используемый за рубежом. Причем электролитический и магнетермический цирконий имеет разный примесный состав, что оказывает влияние на его коррозионные свойства.

2. В той же таблице 1.2 приведены три используемых в настоящее время в российской атомной энергетике циркониевых сплава:

а) двухкомпонентные Э110 (Zr-1Nb) и Э125 (Zr-2,5Nb) и б) многокомпонентный Э635 (Zr-1Nb-(1,1-1,4)Sn-(0,3-0,5)Fe). Однако в последующем в диссертационной работе сплав Э635 не упоминается и не рассматривается.

При этом следует отметить, что сплав Э635 обладает более высокими прочностными характеристиками (в 1,3 раза σ_B и 1,8 раза $\sigma_{0,2}$), чем сплав Э125 (см. таблицу 1.3), и, возможно, в дальнейшем может быть рассмотрен, как кандидатный материал для изготовления эндопротезов. Однако следует отметить, что в его состав входит Fe, правда в небольших количествах.

Данное замечание носит скорее рекомендательный характер.

Заключение

Сделанные замечания не снижают общей высокой оценки диссертационной работы.

В целом представленная диссертация выполнена на высоком научно-техническом уровне и представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой изложены научно обоснованные технические и технологические решения, позволившие разработать режимы комплексной технологии обработки головок эндопротезов тазобедренного сустава из циркониевого сплава Zr-2,5Nb с использованием:

- термоводородной обработки, обеспечивающей получение у сплава Zr-2,5Nb мелкодисперсной структуры, повышающей прочностные характеристики изготавливаемых из него эндопротезов;
- вакуумного ионно-плазменного азотирования поверхности эндопротезов, обеспечивающее повышение их коррозионной и износостойкости.

Разработанные в диссертации способы и режимы обработки позволяют повысить комплекс эксплуатационных свойств циркониевых сплавов, применительно к созданию из них нового поколения компонентов эндопротезов, значительно превосходящих по биологической совместимости и коррозионной стойкости в среде человеческого организма эндопротезы, изготавливаемые из применяемых в настоящее время для этого металлических материалов.

Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли апробацию на 6 научно-технических конференциях, опубликованы в 10 печатных работах, в том числе в 4 статьях в ведущих рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК.

Результаты диссертационной работы могут быть использованы в медицине для изготовления головок эндопротезов тазобедренного и других суставов человека.

Автореферат полностью отражает содержание диссертационной работы и ее результаты.

По научному уровню, полученным результатам, содержанию и оформлению представленная диссертационная работа «Закономерности влияния обратимого легирования водородом и вакуумного ионно-плазменного азотирования на структуру и эксплуатационные характеристики компонентов эндопротезов суставов из циркониевого сплава Zr-2,5Nb» удовлетворяет всем требованиям п.п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор Сафарян Анна Ивановна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 «Материаловедение (машиностроение)»

Официальный оппонент

кандидат физико-математических наук
главный специалист

Института промышленных ядерных технологий
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский
ядерный университет «МИФИ»


Иванова Светлана Владимировна
08.12.2017 г.

Почтовый адрес: 115409, Россия, Москва, Каширское шоссе, 31
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
Электронный адрес: SV_Ivanova@mail.ru
Телефон: +7-916-570-92-93

Подпись Ивановой Светланы Владимировны удостоверяю



