



**Уральский  
федеральный  
университет**

имени первого Президента  
России Б.Н.Ельцина

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования «Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (УрФУ)

ул. Мира, 19, Екатеринбург, 620002,  
факс: +7 (343) 375-97-78; тел.: +7 (343) 374-38-84  
контакт-центр: +7 (343) 375-44-44, 8-800-100-50-44 (звонок бесплатный)  
e-mail: rector@urfu.ru, www.urfu.ru  
ОКПО 02069208, ОГРН 1026604939855, ИНН/КПП 6660003190/667001001

**21 НОЯ 2017**

№ 05-19/1-167

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_



«УТВЕРЖДАЮ»  
Проректор по науке

В.В. Кружаев

21.11. 2017г.

### ОТЗЫВ

ведущей организации 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», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – Материаловедение (машиностроение)

#### Актуальность темы диссертации

Использование циркониевых сплавов для изготовления имплантируемых медицинских изделий имеет несомненную перспективу, связанную прежде всего с их высокой биосовместимостью. Как показано в литературном обзоре диссертации, цирконий по ряду важных для имплантатов биохимических и физических свойств превосходит даже титан и его сплавы, широко применяемые в современной ортопедии и травматологии. В диссертации с материаловедческих позиций рассматривается вопрос о возможности использования существующих сплавов на основе циркония для производства компонентов эндопротезов крупных суставов. Вполне обоснованно делается вывод о том, что для достижения их соответствия установленным требованиям необходимо и целесообразно применение комплексных технологий преобразования структуры объема и поверхности материала с целью повышения эксплуатационных свойств.

Методологический подход автора к решению данной проблемы основан на близости физико-химических свойств циркония и титана с одной стороны и доказанной на практике эффективности технологий термоводородной обработки (ТВО) и вакуумного ионно-плазменного азотирования (ВИПА) титановых имплантатов – с другой. Такой подход представляется вполне логичным, научно-обоснованным и перспективным. Физико-химические принципы преобразования структуры титановых сплавов при обратимом легировании водородом универсальны для гидридообразующих металлов. Однако научных исследований по влиянию обратимого легирования водородом на структуру и свойства



циркониевых сплавов ранее практически не проводилось. Вакуумное ионно-плазменное низкотемпературное азотирование как способ повышения эксплуатационных характеристик, связанных с поверхностью изделий, также успешно применяется для титановых сплавов, сталей и активно исследуется в качестве технологии поверхностного упрочнения циркониевых сплавов.

Поэтому тематика диссертации является актуальной с научной и практической точек зрения, а сформулированные цель и задачи работы обоснованы, конкретны и направлены на решение важной материаловедческой, технологической и социальной проблемы.

#### Характеристика научной новины

В диссертации получено достаточное количество новых научных результатов, подтверждающих достижение цели и решение задач работы и представляющих серьезный научный задел для продолжения результативных исследований в данном направлении.

Впервые экспериментально построена фазовая диаграмма системы сплав  $Zr-2,5Nb - H$  в широких температурно-концентрационных (по водороду – до 0,8 масс. %) интервалах. Установлено влияние водорода на температуры фазовых переходов. Диаграммы такого типа построены и опубликованы в литературе для многих сплавов на основе титана и его алюминидов и эффективно используются в качестве «ключевого» инструмента при разработке технологий термоводородной обработки. Для циркониевых же сплавов подобные диаграммы отсутствовали.

Не менее важным научным результатом представляются количественные зависимости объемных эффектов и несоответствий при фазовых превращениях, на основе которых достаточно достоверно прогнозируется морфология структурных составляющих  $\alpha$ -фазы при термоводородной обработке.

Важное научное значение имеют установленные автором количественные зависимости глубины упрочненного поверхностного слоя и диффузионной зоны азота от температуры ионно-плазменного азотирования и структурного состояния сплава  $Zr-2,5Nb$ . Эти данные вызывают также и большой практический интерес с точки зрения обеспечения требуемого ресурса работы изделий, подвергающихся интенсивным фрикционным нагрузкам.

В целом степень новизны и научная значимость результатов диссертационной работы Сафарян А.И. не вызывает сомнений.

Практическая значимость работы состоит в разработке и успешном лабораторном опробовании вариантов технологий термоводородной обработки пруткового полуфабриката сплава  $Zr-2,5Nb$  с неоднородной пластинчатой структурой, позволивших преобразовать её в однородную глобулярную либо тонкопластинчатую. Кроме того, разработаны режимы вакуумного ионно-плазменного азотирования сплава в структурных состояниях, полученных в результате ТВО, позволившие сформировать глубокие упрочненные поверхностные слои с градиентом микротвердости от 2000 до 4100 МПа. Показано, что такая технология обеспечивает стабильность и высокий уровень коррозионной стойкости сплава.

В соответствии с целью и задачами работы разработана комплексная технология обработки бедренных головок эндопротезов тазобедренного сустава, включающая ТВО и



ВИПА. Изготовленные по этой технологии опытные образцы изделий успешно прошли технические испытания на долговечность по действующему ГОСТу.

В целом практические результаты работы подтверждают выполнение сформулированных задач диссертации и определяют целесообразность и перспективность дальнейших разработок в данном направлении.

Достоверность полученных результатов диссертации подтверждается обоснованным и квалифицированным использованием современных экспериментальных методов и приборов физического материаловедения (металлографического и рентгеноструктурного анализов, дифференциальной сканирующей калориметрии, микродюриметрии, коррозионных и триботехнических испытаний) с автоматизированными способами регистрации, обработки и представления информации, результатами испытаний опытных образцов изделий в соответствии с ГОСТ, использованием методов математической обработки результатов, которые подтверждают научные положения и выводы диссертанта.

#### Замечания по диссертации и автореферату

1. Неясен выбор в качестве объекта исследования горячекатаного прутка диаметром 40 мм сплава Э125 с неоднородной пластинчатой структурой. Промышленностью выпускается достаточно широкая номенклатура прутков разных размеров этого сплава с хорошо проработанной структурой.
2. На фазовой диаграмме системы сплав–водород экспериментальные точки определения фазового состава указаны только в её верхней части (рисунок 2 автореферата и рисунок 3.18 диссертации). По какой причине? Не ясно, что понимает автор под термином «квазиравновесные границы...фазовых областей», использованном при описании диаграммы в автореферате.
3. При определении и анализе изменения объемного эффекта  $\beta \rightarrow \alpha$  – превращения установлена тенденция к его снижению с 6,7 до 2 % при введении 0,2 % водорода (раздел 3.4 диссертации). Однако значений этого эффекта, действительно близких или равных нулю, в работе не получено ввиду невозможности зафиксировать  $\beta$ -фазу при этой и более высоких концентрациях водорода (таблица 2 автореферата и таблица 3.1, 3.2 диссертации). В таком случае не совсем ясно обоснование получения глобулярной  $\alpha$ -фазы при ТВО с разным содержанием водорода (рисунок 3.22 б диссертации).
4. В работе не исследовано влияние ТВО на механические свойства сплава, традиционно указываемые в материаловедческих диссертациях (пределы прочности, текучести, усталости, характеристики пластичности и др.). Это не позволяет более полно оценить пригодность сплава и разработанных технологий для производства и других компонентов эндопротезов, подвергаемых механическим нагрузкам.
5. Не ясно, почему ВИПА при температуре 630°C приводит к большей поверхностной микротвердости сплава и меньшей протяженности зоны твердых растворов как при глобулярной, так и при пластинчатой структуре сплава. Приведенный в разделе 4.2 диссертации анализ этой закономерности полностью не проясняет ситуации.
6. В схеме комплексной технологии обработки опытных образцов головок, приведенной на рисунке 5.1 диссертации, указан только один вид испытаний (контроля) – по ГОСТ 31621.

Это сомнительно, т.к. объем контролируемых параметров медицинских изделий значительно больше.

Сделанные замечания носят рекомендательный либо дискуссионный характер и не снижают общей высокой оценки диссертации.

#### Заключение

Диссертация Сафарян А.И. выполнена на высоком научно-техническом уровне и представляет собой законченную научную квалификационную работу. В диссертации изложены научно-обоснованные технологические решения, заключающиеся в разработке комплексной технологии обработки имплантируемых медицинских изделий из циркониевого сплава, основанной на установленных закономерностях формирования структуры и свойств сплава при термоводородной обработке и вакуумном ионно-плазменном азотировании.

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 рецензируемом журнале, входящем в перечень ВАК. Результаты диссертационной работы могут быть использованы в области разработок и производства имплантируемых медицинских изделий из циркониевых сплавов, а также в других областях техники, использующих эти материалы.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

По научному уровню, полученным результатам, содержанию и оформлению представленная диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям п.п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденном 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).

Отзыв рассмотрен на заседании кафедры «Термообработка и физика металлов» института новых материалов и технологий УрФУ, протокол № 8 от 02 ноября 2017 года. На заседании присутствовало 26 членов из 35. Результаты голосования: «за» - 26, против – нет, воздержавшихся - нет.

Заведующий кафедрой термообработки  
и физики металлов, профессор, д.т.н.



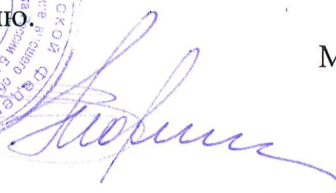
Попов Артемий Александрович

Ученый секретарь, доцент, к.т.н.

Оленева Ольга Аркадьевна

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный  
университет им. первого Президента России  
Б.Н. Ельцина». 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19  
E-mail: [rector@urfu.ru](mailto:rector@urfu.ru)  
Тел.: +7343-3745964

Подписи Попова А.А. и Оленевой О.А. заверяю  
Ученый секретарь УрФУ



Морозова В.А.