



**Уральский
федеральный
университет**

имени первого Президента
России Б.Н.Ельцина

Министерство науки и высшего образования 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, тел.: +7 (343) 375-45-07
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

02 ДЕК 2024

№

01.09-04/940

На №

от

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке

ФГАОУ ВО «Уральский
федеральный университет имени
первого Президента России Б.Н.

Ельцина

Германенко А.В.



Отзыв

ведущей организации

на диссертационную работу Лиджиева Арсланга Алексеевича
«Использование водородных технологий для управления структурой,
технологическими и эксплуатационными свойствами высокомодульного
титанового сплава медицинского назначения», представленную на соискание
ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1
«Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»

Актуальность темы исследований

Титановые сплавы с повышенным содержанием алюминия, превышающим его предельную растворимость в α -титане, рассматривались как перспективные жаропрочные материалы. Однако нерешенные проблемы с термической нестабильностью, связанной с выделением охрупчивающей α_2 -фазы на основе интерметаллида Ti_3Al , до настоящего времени не позволяли

найти этим сплавам практического применения. В диссертации Лиджиева А.А. предложена и научно-обоснована возможность использования такого сплава (Ti-8,7Al-1,5Zr-2Mo) для изготовления легкого и эргономичного крупногабаритного хирургического инструмента для операций по эндопротезированию тазобедренного сустава. Целесообразность такого подхода основана на высокой коррозионной стойкости, удельной прочности и повышенным, по сравнению с промышленными титановыми сплавами, модулем упругости, необходимым для обеспечения жесткости конструкции инструмента (рашпиля для обработки плотных костных структур).

Однако обеспечение нужного комплекса свойств сплава и инструмента – механических, технологических, эксплуатационных, требует решения целого ряда материаловедческих проблем. Так, высокомодульные титановые сплавы имеют низкую технологическую пластичность, плохо обрабатываются резанием, что затрудняет изготовление сложного по геометрии изделия. Обеспечение требуемого комплекса эксплуатационных свойств требует создания оптимального структурного состояния сплава. Необходимость решения этих задач определяет актуальность темы диссертации, ее научную и практическую значимость.

Общая характеристика работы

Цель и задачи работы сформулированы достаточно конкретно, представлены в четкой логической последовательности. Для решения поставленных задач автор предлагает использование водородных технологий – термоводородной обработки (ТВО), водородного пластифицирования, механоводородной обработки, а также вакуумного ионно-плазменного азотирования как финишной операции.

В работе подробно исследовано влияние термобарических, концентрационных, кинетических параметров ТВО на формирование фазового состава и структуры сплава. Особый интерес с металловедческой точки зрения представляют физико-химические закономерности

формирования градиентных структур в сплаве, связанные с тепловыми эффектами сорбции и десорбции водорода.

С целью исследования возможности изотермической штамповки заготовок рашпелей из сплава Ti-8,7Al-1,5Zr-2Mo по режимам, используемым для штамповки заготовок ножек эндопротезов из сплава ВТ6, автор провел математическое моделирование методом конечных элементов процессов штамповки заготовок из этих сплавов. Было показано, что легирование сплава Ti-8,7Al-1,5Zr-2Mo водородом до концентрации 0,6 масс.% обеспечивает такие же температурные, силовые и деформационные параметры штамповки, как и для сплава ВТ6. Было впервые исследовано влияние водорода и параметров термоводородной обработки на силу резания и температуру в зоне резания при фрезерной обработке сплава. Дано объяснение закономерностей этого влияния с позиций формирования структур и специфики водородного легирования.

Представлены результаты исследований влияния ТВО и последующего ионно-плазменного азотирования на ударную вязкость образцов сплава, как основной вид эксплуатационной нагрузки на инструмент.

По результатам всех исследований предложена весьма логичная и перспективная комплексная технология изготовления и обработки заготовок и готовых изделий (рашпелей) из высокомодульного титанового сплава.

Выводы по работе дают исчерпывающую информацию о проведенных исследованиях и подтверждают достижение цели и выполнение задач диссертации.

Характеристика научной новизны

Автором впервые установлены закономерности формирования градиентных структур в сплаве Ti-8,7Al-1,5Zr-2Mo при термоводородной обработке, в том числе при давлении водорода, превышающем 1 атм. Дано удовлетворительное металловедческое объяснение процессов структурообразования с точки зрения тепловых эффектов сорбции и десорбции водорода сплавом.

Установлены деформационные, температурные и силовые характеристики изотермической штамповки заготовок рашпилей из сплава Ti-8,7Al-1,5Zr-2Mo, легированного водородом, с использованием математического компьютерного моделирования.

Впервые экспериментально определено влияние водорода на силовые и температурные характеристики обработки резанием высокомодульного титанового сплава.

Установленные закономерности подробно объяснены особенностями структуры, формирующейся при наводороживающем и вакуумном отжигах, и изменением физических свойств сплава.

Практическая значимость диссертации заключается в разработке комплексной технологии изготовления и обработки заготовок рашпилей для ортопедических операций эндопротезирования. Все технологические операции научно обоснованы. Даны рекомендации по геометрии конструктивных элементов рашпилей, основанные на результатах экспериментального определения ударной вязкости образцов сплава. Рекомендации использованы на предприятии, производящем медицинские изделия из титановых сплавов.

Достоверность результатов работы обеспечена использованием современных методов исследования, поверенного оборудования и средств измерения, стандартных методик испытаний.

Диссертация в целом написана технически грамотным языком, аккуратно оформлена, наглядно иллюстрирована.

Замечания и вопросы

1. В представлении кристаллической решетки нитридов титана на рисунке 1.13 диссертации отсутствует указание положений атомов азота и не понятно в чем принципиальная разница решеток на рис. 1.13б и 1.13е, на рис.1.13в и 1.13г.
2. В диссертации не приведены конкретные данные о температуре полного полиморфного $\alpha+\beta\rightarrow\beta$ -превращения ($T_{пп}$) в исследуемом сплаве Ti-8,7Al-1,5Zr-2Mo и о влиянии легирования водородом при ТВО на $T_{пп}$, что не позволяет

соотнести используемые в работе температуры термической обработки с $T_{\text{пл}}$ и достоверно судить о фазовом составе и формируемой структуре при нагреве на температуру обработки.

3. В главе 3 в таблицах фазового состава сплава Ti-8,7Al-1,5Zr-2Mo несколько раз указывается, что образуется “ δ – гидридная фаза состава TiH_x , где $1 \leq x \leq 2$ ”. Из текста диссертации непонятно каким образом было установлено отклонение отмеченного гидрида от стехиометрического состава TiH_2 .

4. На стр. 68 главы 3 есть следующий текст: «При температуре наводороживающего отжига в сплаве происходит рекристаллизация исходной пластинчатой α -фазы с образованием полиэдрических α -зерен.» Исходя из развивающихся в ходе отжига процессов в данном случае корректнее писать «происходит сфероидизация (глобуляризация)...», так как пластины α -фазы трансформируются за счет их частичного растворения и дробления, а не за счет образования новых зародышей рекристаллизации.

5. На стр. 115 диссертации указано: «При сравнительном анализе азотированных образцов и образцов после вакуумной ионно-плазменной обработки различия в фрактограммах не выявлены.» В тоже время исходя из данных таблицы 5.2 на стр. 112 следует, что проведение азотирования для четырех разных состояний сплава способствовало в 3-х случаях их 4-х снижению ударной вязкости в 1,5...2,7 раза. Возник вопрос: с чем автор связывает отмеченное сходство фрактограмм, несмотря на существенную разницу в ударной вязкости до и после азотирования?

Сделанные замечания не снижают научной ценности и практической значимости работы.

Диссертационная работа Лиджиева А.А. представляет собой законченную научную квалификационную работу, в которой изложены научно-обоснованные технологические решения по применению современных и перспективных технологий для управления структурой и повышения технологических и эксплуатационных свойств ортопедического

хирургического инструмента из высокомодульного титанового сплава Ti-8,7Al-1,5Zr-2Mo.

Результаты работы доложены на 10 научно-технических конференциях, опубликованы в 20 статьях, в том числе в 10 в журналах, входящих в перечень ВАК, и в трех, входящих в международные системы цитирования.

Автореферат и опубликованные работы полностью отражают содержание диссертации.

По научному уровню, полученным результатам, содержанию и оформлению диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям п.п. 9-16 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденном Постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842, а ее автор Лиджиев Арсланг Алексеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1 «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Отзыв был рассмотрен на заседании кафедры Термообработки и физики металлов, протокол № 11 от 28.11.2024г.

Заведующий кафедрой
термообработки и физики
металлов ФГАОУ ВО
«Уральский Федеральный
университет имени первого
Президента России Б.Н.
Ельцина»,
д.т.н, профессор



Попов
Артемий Александрович