

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Шереметьева Вадима Алексеевича «Стабильность структуры и функциональных свойств термомеханически обработанных биосовместимых сплавов Ti-Nb-Zr и Ti-Nb-Ta с памятью формы», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

В последнее время сплавы с памятью формы (СПФ) на основе никелида титана, обладающие особыми функциональными свойствами, основанными на термоупругом обратимом мартенситном превращении, находят широкое применение в технике и медицине. Однако наличие токсичного никеля в составе сплавов ограничивает их медицинское применение. Необходимость в металлических имплантатах для ортопедии, челюстно-лицевой хирургии и стоматологии, сочетающих биологическую, механическую и химическую совместимость, привела к созданию безникелевых СПФ, в частности, систем Ti-Nb-Ta и Ti-Nb-Zr. Одной из **актуальных** задач является изучение влияния термомеханической обработки (ТМО) этих сплавов на структурно-фазовое состояние, функциональное и усталостное поведение, характеристики поверхности, чему и посвящена представленная объемная, скрупулезная по результатам и анализу, диссертационная работа.

Диссертант Шереметьев В.А. выполнил детальный литературный обзор работ в данной области и представил оригинальные результаты собственных исследований стабильности структуры и функциональных свойств основы и поверхности термомеханически обработанных биосовместимых сплавов Ti-Nb-Zr и Ti-Nb-Ta с памятью формы.

Наиболее важными результатами диссертационной работы являются следующие:

- Установлены закономерности изменения структуры термомеханически обработанных по разным режимам СПФ систем Ti-Nb-Zr и Ti-Nb-Ta в ходе повторных механических циклических испытаний и промежуточных длительных выдержек.
- Установлены закономерности изменения характеристик сверхупругого поведения термомеханически обработанных по разным режимам СПФ систем Ti-Nb-Zr и Ti-Nb-Ta в ходе повторных функциональных механических циклических испытаний и промежуточных длительных выдержек. Показано, что наносубзеренное структурное

состояние, формируемое в результате ТМО, обеспечивает наибольшую стабильность функциональных характеристик и долговечность СПФ Ti-Nb-Zr.

- Экспериментально показано, что сохранение при ТМО СПФ Ti-Nb-Zr сильного деформационного наклепа обеспечивает наибольшую функциональную долговечность при усталостных испытаниях в условно-упругой области (максимальная деформация в цикле 0,2 %). При переходе в область сверхупругих деформаций наибольшую долговечность, наряду с наименьшим модулем упругости, обеспечивает полигонизованная (наносубзеренная) дислокационная субструктура β -фазы и тем в большей мере, чем больше вклад сверхупругой деформации. Это способствует повышению эксплуатационной надежности имплантата в условиях повторяющихся перегрузок.
- Установлены закономерности изменения физико-механических характеристик поверхностного слоя СПФ на основе Ti-Nb с изменением температуры последеформационного отжига.

Достоверность полученных в диссертации В.А. Шереметьева результатов обеспечивается большим объемом данных, полученных современными структурно-физическими методами исследований и испытаний функциональных свойств СПФ, их корректной статистической обработкой, соответствием установленных закономерностей литературным данным, а также непротиворечивостью экспериментальных результатов современным теоретическим представлениям. Все научные положения, выводы и заключения, выполненные в диссертационной работе, являются обоснованными и достоверными.

Научные результаты, полученные в диссертации, и основные положения, выносимые на защиту, могут быть использованы в практике научных исследований СПФ, для развития фундаментальных основ управления функциональными свойствами СПФ путем формирования наноструктурных состояний, практического применения, а также в качестве учебного материала в курсах лекций по металловедению и термической обработке металлов и сплавов.

Диссертация изложена на 126 страницах машинописного текста, состоит из введения, 5 глав, 8 выводов. Включает 70 рисунков, 12 таблиц, библиографический список из 122 наименований. Основное содержание диссертации опубликовано в 17 печатных работах, 1 из них в международной коллективной монографии, 2 в изданиях, рекомендованных ВАК, и 1 в международном журнале.

По работе имеются следующие **комментарии и замечания** по содержанию

диссертации и ее оформлению:

Общие замечания

1. Для каких видов имплантатов в медицине предназначаются разрабатываемые сплавы? Это важно знать, т.к. условия эксплуатации будут определять и требования к ним.
2. Отсутствие сведений о температурах МП для каждого из сплавов затрудняет сравнительный анализ влияния режимов ТМО. В этой связи, не ясно, удалось ли найти основной структурный или иной критерий высокой стабильности сверхупругих свойств (стр.74).
3. Отсутствуют достаточные обоснования совершенствования эффекта сверхупругости при увеличении количества циклов при механоциклировании или ссылки на литературные данные.
4. Нет обоснования выбора схемы сверхупругого механоциклирования – 10 циклов, 40 и 365 дней, 2%.
5. В работе часто используется термин «развитая» дислокационная структура без соответствующего пояснения.

Методические замечания

6. Не ясна толщина заготовок до прокатки и как рассчитывалась ϵ . Если она была 5 мм, то при прокатке до 1.5 мм деформация по толщине составит $\epsilon = \ln 5/1.5 = 1.2$ (а не 0.3).
7. рис.41-42. По диаграммам растяжения допустима только качественная оценка модуля упругости. Количественная оценка изменения модуля упругости в интервале 40-54 ГПа не может быть корректной из-за влияния жесткости системы машина-образец, которая, как правило, недостаточна. Обычно это делают ультразвуковым методом.
8. Нет обоснования температуры, при которой проводятся испытания на сверхупругость. Все исследования выполнены при комнатной температуре, однако неясно как будет работать имплантат в реальных условиях при температуре человеческого тела.
9. Рис.36 стр.76. Объемная доля α и ω фаз, сравнимая с долей β -фазы по результатам электронной микроскопии, не позволяет оценивать их как «небольшое количество», хотя рентгеноструктурные данные (рис. 37) не обнаруживают ω фазу. Для важного состояния после отжига при 600 °С невысокое увеличение на рис.37б не позволяет оценить размер полигонизованных субзерен TNZ сплава как 50-250 нм.

Замечания к оформлению

1. Слова «имплант» в русском орфографическом словаре нет, есть правильный русскоязычный вариант – имплантат.
2. рис. 26-27 В надписи неверно указана ссылка на рис.18 (вместо рис.20).
3. рис.36 Здесь и далее сбита нумерация рисунков.
4. Таблица 2 в автореферате обозначена, как таблица 12.

В целом диссертация представляет законченную научно-исследовательскую работу, она выполнена на высоком научном уровне. В работе получены важные научные и практические результаты, способствующие реализации максимальных функциональных свойств сплавов с памятью формы.

Автореферат и опубликованные работы полностью отражают основное содержание диссертации. Диссертационная работа отвечает требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатской диссертации (п.7 Положения о порядке присуждения ученых степеней), а ее автор Шереметьев Вадим Алексеевич достоин присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Официальный оппонент

Главный научный сотрудник

Института машиноведения им. А.А. Благонравова РАН,
д.т.н., проф.

адрес: малый Харитоньевский пер, д.4

тел. 8-495-625-60-28

e-mail: vlstol@mail.ru

Столяров В.В.

Столяров В.В.

Подпись Столярова В.В. заверяю

Начальник отдела кадров ИМАШ РАН



Петюков Э.Н.

Петюков Э.Н.