

«Утверждаю»

Зам. директора Федерального
государственного бюджетного
учреждения науки Институт
металлургии и материаловедения им.
А.А. Байкова Российской академии наук,
член — корр. РАН



С.М. Баринов

« 28 » мая 2015 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации о диссертационной работе 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»

Актуальность работы

Основной недостаток металлических имплантатов, применяемых в ортопедии, челюстно-лицевой хирургии и стоматологии, – значительное отличие их механического поведения от костной ткани. При изготовлении современных имплантатов применяют металлические материалы, имеющие гораздо более высокий модуль Юнга (более 100 ГПа) по сравнению с костной тканью (1-27 ГПа). Это приводит к нарушению механико-биологического равновесия в организме человека. Низкие значения модуля Юнга (50-80 ГПа) и сверхупругое (СУ) поведение, близкое к поведению костной ткани, демонстрируют сплавы с памятью формы (СПФ), особенно, сплавы Ti-Ni. Однако токсичность одного из двух основных компонентов – никеля ограничивает развитие их медицинского применения. Необходимость в металлических имплантатах, сочетающих биомеханическую совместимость с биохимической, привела к развитию исследований в

области многокомпонентных безникелевых СУ титановых сплавов, в частности, систем Ti-Nb-Ta и Ti-Nb-Zr.

Параметры эффектов сверхупругости и памяти формы определяют функциональные свойства СПФ. Большинство современных методов управления эксплуатационными характеристиками СПФ базируется на целенаправленном изменении их структуры, субструктуры и фазового состава. Наиболее эффективным инструментом управления функциональными свойствами СПФ является термомеханическая обработка (ТМО). Схема ТМО СПФ, включающая холодную прокатку (ХП) или волочение и последеформационный отжиг (ПДО), определена как наиболее оптимальная и для сплавов Ti-Nb-Zr и Ti-Nb-Ta. Определены также режимы ТМО, позволяющие сформировать полигонизованную дислокационную субструктуру β -фазы с размерами структурных элементов в нано- и субмикронном диапазонах, которая обеспечивает наилучший комплекс функциональных и механических свойств, в т.ч. низкое значение модуля Юнга (30-40 ГПа) и СУ поведение при температуре человеческого тела.

Увеличение срока службы материалов для имплантатов, замещающих костную ткань, повышение стабильности их функциональных свойств является одной из важнейших задач современного медицинского материаловедения. Область деформаций, в которой на макроуровне (визуально) проявляется эффект сверхупругости, лежит вне области деформаций, которым реально регулярно подвергается костная ткань: верхний предел этой области составляет около 0,2 %, т.е. близко к нормальной упругой деформации металла. Поэтому важно сопоставить результаты функциональных усталостных испытаний в сверхупругой и условно упругой областях, а также проверить эффективность разных режимов ТМО по отношению к функциональной долговечности и стабильности механических характеристик СПФ в различных условиях многоциклового деформации. Формирование «дружественной» организму поверхности имплантата также является одним из важнейших факторов, обуславливающих его биосовместимость. В результате ПДО, служащего заключительной операцией в схеме ТМО, на поверхности сплава формируется оксидный слой, влияние которого на процесс остеоинтеграции не изучено.

Поэтому диссертацию В.А Шереметьева, посвященную систематическому изучению стабильности структуры и функциональных свойств основы и поверхности термомеханически обработанных биосовместимых сплавов Ti-Nb-Zr и Ti-Nb-Ta с памятью формы, следует считать весьма актуальной.

Научная новизна работы.

Анализ диссертационной работы В.А. Шереметьева показывает, что им получен большой объем оригинальных результатов. В работе эффективно использованы методы структурных исследований (рентгеноструктурный анализ, просвечивающая электронная микроскопия), а также исследования функциональных характеристик основы и поверхности.

Наиболее важными и оригинальными 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. Установлено структурное состояние, формируемое в результате ТМО (наносубзеренная структура), обеспечивающее наибольшую стабильность функциональных характеристик и функциональную 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.

Практическая значимость работы.

Совокупность новых результатов, полученных в диссертационной работе, представляет несомненный интерес с позиций их использования в медицинской и других областях техники. В частности, представляется перспективным применение предложенной схемы ТМО, включающей холодную прокатку с умеренными степенями деформаций и ПДО при 600 °С, 30 мин. и позволяющей получить сплавы на основе системы Ti-Nb с полигонизованной субструктурой β -фазы, в наибольшей мере сочетающие высокий комплекс функциональных свойств основы и поверхности. Установлены термомеханические условия стабилизации характеристик сверхупругого поведения СПФ Ti-Nb-Zr и Ti-Nb-Ta. Предложенные оптимальные режимы ТМО использованы при изготовлении прутковых заготовок для дентальных имплантатов.

Достоверность и обоснованность результатов

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 данным, имеющимся в научной литературе, а также непротиворечием экспериментальных результатов современным теоретическим представлениям. Все научные положения, выводы и заключения, выполненные в диссертационной работе, являются обоснованными и достоверными.

Диссертант В.А. Шереметьев успешно выступил в нашей организации и дал исчерпывающие ответы на все заданные вопросы.

Рекомендации по использованию результатов диссертации.

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.

Замечания по диссертационной работе:

1. Термин «наносубзеренная структура» не вполне отражает реальные особенности описываемой структуры. Во-первых, наряду с наноразмерными субзернами в этой структуре наблюдается высокая плотность свободных (не связанных в субграницы) дислокаций. Во-вторых, само определение «субзеренная» может иметь двоякое толкование: (1) это структура, состоящая из субзерен; ((2) это любая субструктура внутри зерна.
2. Автор правильно отмечает несоответствие изменений параметров кривых деформации-разгрузки и отсутствия структурных изменений в результате длительных выдержек, однако какого-либо решения этой проблемы не предлагает.
3. Было бы полезно в диссертации провести сравнительный анализ особенностей обычного и функционального (псевдоупругого) усталостного поведения металлов. Возможно, это позволило бы выявить дополнительные полезные его закономерности.
4. Из обсуждения неясно мнение автора о границах областей упругого, условно-упругого и сверхупругого поведения СПФ Ti-Nb-Zr. Можно ли их указать точно, или это постепенные переходы от преимущественно одного к преимущественно другому?
5. Для формирования оксидного слоя на поверхности контрольного материала (чистого титана) проводили отжиг по режиму, оптимальному для основных сплавов на основе титан-ниобий. Насколько этот выбор обоснован в отношении чистого титана?
6. Поверхностные слои основных сплавов и контрольных материалов имеют разную шероховатость. В какой мере это могло повлиять на результаты измерительного царапания, испытаний на износостойкость и смачиваемость?

Общая характеристика диссертационной работы.

Анализ работы показывает, что несмотря на указанные замечания, диссертация В.А. Шереметьева по своим целям, содержанию, квалифицированности применения современных экспериментальных методов, значимости результатов и уровню их обсуждения заслуживает высокой оценки. Она соответствует специальности 05.16.01 – металловедение и термическая обработка металлов и сплавов. Диссертационная работа

написана в хорошем стиле и оформлена в полном соответствии с установленными требованиями. Результаты работы В.А. Шереметьева опубликованы в российских и зарубежных рецензируемых научных журналах, в том числе рекомендованных ВАК РФ для защиты кандидатских диссертаций, и обсуждены на ряде Всероссийских и международных конференций. Автореферат и публикации правильно и достаточно полно отражают содержание диссертационной работы.

В целом, диссертация В.А. Шереметьева является серьезной научно-квалификационной работой. Работа является законченным исследованием, выполненным на актуальную тему, и соответствует пункту 7 «Положения о порядке присуждения учёных степеней». Задачи, решенные диссертантом, имеют существенное значение для отрасли знаний, связанной с использованием перспективных функциональных материалов.

Диссертация отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а диссертант В.А. Шереметьев заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Настоящий отзыв обсужден и утвержден на совместном заседании лаборатории металловедения цветных и легких металлов ИМЕТ РАН и лаборатории пластической деформации металлических материалов ИМЕТ РАН «27» мая 2015 года. Протокол заседания № 28.

Зав. лабораторией металловедения
цветных и легких металлов,
д.т.н., профессор



С.В. Добаткин

Зав. лабораторией пластической деформации
металлических материалов, д.т.н.



В.С. Юсупов

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт
металлургии и материаловедения им.А.А. Байкова Российской академии наук
119991, г. Москва, Ленинский проспект, 49 / тел.: +7 (499) 1352060.

dobatkin@imet.ac.ru – Добаткин Сергей Владимирович (+7 (499) 1357743)

yusupov@aport2000.ru – Юсупов Владимир Сабитович (+7 (499) 1358651)

barinov@imet.ac.ru – Баринов Сергей Миронович (+7 (499) 1358510)