

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Шереметьева Вадима Алексеевича «Научно-технологические основы получения и обработки сверхупругих сплавов Ti-Zr-Nb методами комбинированной термомеханической обработки и селективного лазерного плавления для изготовления ортопедических имплантатов», представленной на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 2.6.1. – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Рост продолжительности жизни и развитие травматологии и ортопедии стимулируют спрос на новые имплантационные материалы, которые должны обладать высокой механической и биологической совместимостью. Наиболее перспективными считаются металлические биоматериалы, особенно метастабильные  $\beta$ -сплавы систем Ti-Nb, Ti-Zr, Ti-Ta, Ti-Mo, Ti-Hf. Применение этих сплавов, обладающих низкой жесткостью, сверхупругостью и биосовместимостью, снижает риск резорбции костной ткани. Среди них сплавы Ti-Zr-Nb показывают наибольший потенциал за счет значительного ресурса обратимой деформации и реализации сверхупругости при температуре тела. Механические и функциональные свойства сверхупругих сплавов Ti-Zr-Nb зависят от их структуры и кристаллографической текстуры, которые можно контролировать с помощью термомеханической обработки (ТМО). Эффективное повышение свойств сплавов Ti-Zr-Nb методами ТМО вместе с получением полуфабрикатов пригодных для изготовления ортопедических имплантатов путем применения современных способов обработки давлением является актуальной и комплексной задачей. Развитие аддитивных технологий, в частности селективного лазерного плавления, позволяет создавать персонализированные имплантаты с высокой биомеханической совместимостью. Для получения качественных изделий необходимы оптимальные режимы синтеза, определяемые математическим моделированием и экспериментальной верификацией. Поэтому **актуальность** диссертации Шереметьева В.А., посвященной разработке научных основ сквозной (от слитка до изделия) технологии получения и термомеханической обработки полуфабрикатов этих сплавов, включая селективное лазерное плавление, для изготовления ортопедических имплантатов, обладающих высокой биомеханической и биохимической совместимостью с костной тканью человека, не вызывает сомнений.

В качестве **научной новизны** диссертационной работы Шереметьева В.А. можно отметить следующие результаты.

- Установлены закономерности структурообразования и связанного с ним изменения механических и функциональных свойств сплава Ti-Zr-Nb в результате НТМО, включающей холодную прокатку со степенями деформации от умеренной ( $\epsilon=0,3$ ) до интенсивной ( $\epsilon=3$ ) и ПДО при температурах 450–600 °С. Показано, что формирование в сплаве полигонизованной субмикросубзеренной структуры  $\beta$ -фазы в результате умеренной холодной прокатки и ПДО при 550 °С обеспечивает наилучший комплекс механических и функциональных свойств среди других вариантов ТМО по схеме НТМО.



- Установлены закономерности формирования структуры, фазового состояния и кристаллографической текстуры длинномерных прутковых полуфабрикатов из сверхупругих сплавов Ti-Zr-Nb в результате комбинированной высокотемпературной ТМО, сочетающей РСП, РК и ПП в трехвалковом калибре; установлена их взаимосвязь с механическими и функциональными свойствами. Показано, что сплав с преимущественно динамически полигонизованной субструктурой внутри зерен  $\beta$ -фазы и преобладающей кристаллографической текстурой в направлении  $[011]\beta$  демонстрирует рекордный комплекс механических и функциональных свойств: низкий модуль Юнга ( $E \leq 45$  ГПа), высокие обратимая сверхупругая деформация ( $\epsilon_{semax} = 3,6$  %), предел прочности ( $\sigma_b \geq 725$  МПа) и относительное удлинение до разрушения ( $\delta \geq 15$  %).

- Впервые установлены закономерности формирования структуры, фазового состава и кристаллографической текстуры в сплавах системы Ti-Zr-Nb, полученных сочетанием селективного лазерного плавления, термической и термоциклической обработки; выявлено влияние этих параметров на механические и функциональные свойств этих сплавов.

**Практическая значимость** диссертационной работы Шереметьева В.А. не вызывает сомнений и эта часть работы хорошо отражена в автореферате.

В качестве **замечания** по автореферату можно отметить следующее.

Из текста автореферата следует, что единственное преимущество нанозеренной структуры исследуемого сплава перед полигонизованной и рекристаллизованной в отношении механических свойств и функциональных характеристик формовосстановления являются более высокие прочностные характеристики. В сравнении же с характеристиками формовосстановления она им безусловно проигрывает. В то же время более высокое сопротивление пластической деформации должно способствовать повышению реактивного напряжения. К сожалению, изучение этой важной силовой функциональной характеристики СПФ в работе отсутствует.

Это замечание не снижает общую высокую оценку диссертационной работы Шереметьева В.А. Диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне с использованием современного научного и технологического оборудования. Работа Шереметьева В.А. апробирована на всероссийских и международных конференциях, результаты опубликованы как в российских, так и в зарубежных рецензируемых высокорейтинговых научных журналах.

Диссертационная работа В.А. Шереметьева по своему теоретическому, научно-методическому и экспериментальному уровню, объему работы, актуальности, научной новизне и практической значимости полученных результатов соответствует требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям Положением о порядке присуждения ученых степеней в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», а ее автор Вадим Алексеевич Шереметьев заслуживает присуждения ученой степени доктора

технических наук по специальности 2.6.1. – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Даем свое согласие на обработку персональных данных и включение их в аттестационное дело В.А. Шереметьева.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный индустриальный университет»

Заведующий кафедрой  
естественнонаучных дисциплин имени  
профессора В.М. Финкеля  
Доктор физико-математических наук.  
(01.04.07 - физика конденсированного  
состояния), профессор,  
Заслуженный деятель науки РФ,  
Лауреат премии Правительства РФ в области  
науки и техники,  
Лауреат премии РАН им. И.П. Бардина  
19.08.2024

Громов  
Виктор Евгеньевич

Д.т.н. (специальность 01.04.07 – физика  
конденсированного состояния), доцент,  
Профессор кафедры естественнонаучных  
дисциплин  
им. профессора В.М. Финкеля

19.08.2024

Невский  
Сергей Андреевич

Подписи В.Е. Громова и С.А. Невского  
удостоверяю  
Начальник ОК ФГБОУ ВО «СибГИУ»



Миронова  
Татьяна Анатольевна

Адрес: 654006, г. Новокузнецк, ул. Кирова 42, СибГИУ, каф. естественнонаучных дисциплин им. проф. В.М. Финкеля. Телефон (3843) 46-22-77, факс (3843) 46-57- 92, E-mail: gromov@physics.sibsiu.ru, snevskiy@bk.ru