

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации **Окулова Артема Владимировича «Прочные низко модульные сплавы на основе систем Ti-Zr, Ti-Hf, Ti-Nb, Ti-Fe и Ti-Ni для биомедицинского применения»**, представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

В последние годы успехи современной медицины привели к увеличению средней продолжительности жизни человека. Вместе с тем, эта тенденция стимулирует спрос на биомедицинские металлические имплантаты для остеосинтеза и остеопластики. В качестве материала для имплантатов часто используют нержавеющую сталь, сплавы системы Co-Cr, коммерчески чистый титан и его сплавы (в качестве добавок выступают Nb, Zr, Mo, Ta, Al). Однако нержавеющая сталь и сплавы системы Co-Cr в среде организма человека высвобождают атомы Ni, Co и Cr, которые являются потенциально токсичными и канцерогенными для организма. Кроме того, все перечисленные материалы обладают более высоким значением модуля Юнга (в 2-3 раза) по сравнению с костными тканями (4-30 ГПа), что приводит к эффекту «экранирования напряжения», и как следствие, резорбции кости вокруг имплантата и его дезинтеграции. Возможным решением для снижения величины модуля Юнга и лучшей биосовместимости является создание высокопористого материала на основе Ti и его сплавов. В настоящее время существуют два наиболее перспективных метода: порошковая металлургия и «деаллоинг» в жидком магнии. При использовании метода порошковой металлургии, полученные материалы часто загрязнены примесями и обладают повышенной хрупкостью. В свою очередь метод «деаллоинга» в жидком магнии начали развивать недавно (наиболее значимая работа вышла в 2013 году) и, как следствие, основные значимые параметры и закономерности получения пористых материалов в данное время для большинства металлов и сплавов неизвестны. Поэтому цель работы Окулова А.В., заключающаяся в установлении закономерностей формирования микроструктуры, фазовых превращений и физико-механических свойств микропористых бинарных сплавов на основе систем Ti-Zr, Ti-Hf, Ti-Nb и Ti-Fe (обобщенно обозначенных $Ti_x(Zr/Hf/Nb/Fe)_{100-x}$) и металл-полимерных композитов на их основе, впервые полученных методом «деаллоинга» в жидком Mg из сплавов-предшественников $(Ti_x(Zr/Hf/Nb/Fe)_{100-x})_yCu_{100-y}$ является **актуальной**.

В качестве **научной новизны** диссертационной работы Окулова А.В. стоит отметить установление влияния химического состава сплавов-предшественников $(Ti_x(Zr/Hf/Nb/Fe)_{100-x})_yCu_{100-y}$ и параметров процесса «деаллоинга» (времени и температуры) на фазовый состав, микроструктуру и физико-механические свойства микропористых сплавов $Ti_x(Zr/Hf/Nb/Fe)_{100-x}$.

Результаты, полученные в работе Окулова А.В., обладают **как теоретической, так и практической значимостью**. Установленные в работе закономерности влияния химического состава сплавов-предшественников и параметров процесса «деаллоинга» на характеристики полученных низко модульных микропористых сплавов позволили разработать новый класс материалов с гибкой настраиваемой полифункциональностью и заложили основы для их дальнейшего исследования. Полученные микропористые сплавы $Ti_x(Zr/Hf/Nb/Fe)_{100-x}$ обладают высокими значениями предела текучести (72-480 МПа) и низкими значениями модуля Юнга (3-21 ГПа), что дает широкие возможности для использования данных материалов при разработке и производстве прочных низко модульных имплантатов.

В тексте автореферата обильно используются сокращения и редко используемые термины без расшифровки и определения: «деаллоинг», «лигаменты» и т.д. Достоинством работы является исследование большого спектра состава сплавов-предшественников, но результаты работы приведены в виде таблиц и графиков и мало обсуждаются. Качество и разрешение рисунков в автореферате довольно плохое.

В качестве *замечаний* по автореферату можно отметить следующее:

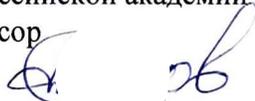
1. В тексте автореферата указано, что был проведен рентгеноструктурный анализ сплавов-предшественников. Однако результатов данных исследований в автореферате нет, как и данных по исследованию микроструктуры сплавов-предшественников.

2. Из текста довольно сильно выбивается шестая глава, посвященная исследованию сплавов на основе TiNi. На наш взгляд, было бы более интересным провести сравнение характеристик низкомолекулярных пористых сплавов $Ti_x(Zr/Hf/Nb/Fe)_{100-x}$ с более близкими по характеру применения в качестве имплантатов материалов: нанокристаллическими сплавами на основе Ti-Nb и Ti-Nb-Zr, или высокопористыми сплавами на основе Ti-Ni.

Приведённые замечания носят характер мнения, и не снижают высокую оценку диссертационной работы Окулова А.В. Работа выполнена на хорошем научном уровне с привлечением современных методов исследований. Работа Окулова А.В. апробирована на всероссийских и международных конференциях, результаты опубликованы в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК.

Диссертационная работа Окулова Артема Владимировича актуальна, содержит научную новизну, обладает теоретической и практической значимостью и является законченной квалификационной работой. Содержание работы соответствует паспорту специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов» и п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. №842 (с изменениями согласно Постановлению Правительства Российской Федерации от 01.10.2018 г. №1168), а её автор Окулов Артем Владимирович заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Советник директора по научно-организационным вопросам, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией материаловедения сплавов с памятью формы Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики прочности и материаловедения Сибирского Отделения Российской академии наук доктор физико-математических наук, профессор

 А. И. Лотков

научный сотрудник,
кандидат физико-математических наук

 Д.Ю. Жапова

«03» марта 2020 г.

Подпись _____ пр. Лоткова А.И. и н.с. Жаповой Д.Ю. заверяю.

Учёный _____
кандидат физико-математических наук

 Н.Ю. Матолыгина

Адрес: 634055, г. Томск, пр. Академический, 2/4,
Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,

Лотков Александр Иванович,
тел. (3822)492696, e-mail: lotkov@ispms.ru

Жапова Доржима Юрьевна
тел. (3822)286982, e-mail: dorzh@ispms.tsc.ru

На обработку персональных данных согласны.

С отзывом ознакомлен
Окулов А.В.
10.03.2020