

Отзыв

**официального оппонента Гвоздева Александра Евгеньевича
на диссертационную работу Конушкина Сергея Викторовича «Разработка
технологии получения композиционного материала «основа Ti-Nb-Ta –
биodeградируемый полимер», представленную на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности 05.16.06 - «Порошковая
металлургия и композиционные материалы»**

Разработка новых материалов для имплантатов является важной и очень актуальной задачей. Используемые в настоящее время материалы, такие как титан и сплавы на его основе, нержавеющей стали, нитинол и другие металлические сплавы, не в полной мере удовлетворяют всему комплексу требований по биомеханической и биохимической совместимости с тканями человеческого организма.

Разработанные диссертантом сплавы системы Ti-Nb-Ta обладают низким модулем Юнга и проявляют эффекты сверхупругости и запаздывания. В связи с этим их применение как материала-основы для композитных имплантатов представляется весьма перспективным. Особо интересной разработкой диссертанта является композиционное биodeградируемое покрытие из полилактида, содержащего частицы антибиотиков (линкомицина, цефотаксима или гентамицина). Такое покрытие придает композиционному материалу «основа Ti-Nb-Ta –биodeградируемый полимер» возможность адресной доставки лекарственных средств. Применение имплантатов из таких композитов существенно снизит риск послеоперационных осложнений и уменьшит общую медикаментозную нагрузку на организм за счет локального действия.

На отзыв представлена диссертация общим объемом 195 страниц, включающая введение, 5 глав, общие выводы, список используемой литературы из 147 пунктов, список наиболее важных публикаций автора и содержащая 109 рисунков и 27 таблиц, а также автореферат общим объемом 24 страницы, включая 8 рисунков, 5 таблиц, общие выводы и список наиболее важных опубликованных работ из 13 наименований.

Во введении описывается цель, задачи работы, обосновывается их актуальность, новизна и практическая значимость, приведены данные по апробации работы и основным публикациям.

В первой главе приводится обзор литературы, используемой в диссертационной работе. Проведен анализ материалов, используемых для

имплантатов и требований к таким материалам. Показано, что наиболее важными показателями являются биомеханическая совместимость, высокие механические свойства и биохимическая совместимость. В качестве перспективных материалов для имплантатов обосновано выбраны сплавы системы Ti-Nb-Ta. Такие сплавы имеют эффект памяти формы и эффект сверхупругости и смогут обеспечить сочетание высоких механических характеристик с низким значением модуля упругости, в наибольшей степени из существующих сплавов приближающееся к значению модуля упругости тканей человеческого организма. Также обоснованы и выбраны материалы для композиционного покрытия, которые смогут обеспечить регулируемый локальный выход лекарственных средств, необходимый в послеоперационный период.

Во второй главе подробно описываются материалы и методы исследования, используемые в работе.

В третьей главе предложены сплавы Ti-15Nb-5Ta, Ti-20Nb-5Ta, Ti-25Nb-5Ta (ат. %) и технологии получения из этих сплавов пластин толщиной 1мм и проволоки диаметром 280 мкм. Стоит отметить, что подобранные параметры выплавки, диффузионного отжига, обработки давлением и термической обработки позволили обеспечить необходимое сочетание механических свойств, низкого значения модуля Юнга и биосовместимости, лучшей чем у используемых в настоящее время титана и титановых сплавов. Это крайне важно для материалов, которые будут служить основой композитов, используемых для создания медицинских изделий. Проведены комплексные исследования структуры, фазового состава, механических свойств, биосовместимости, а также фрактографические исследования. На основании исследований обнаружено, что по биосовместимости и механическим свойствам наиболее перспективным является сплав Ti-20Nb-5Ta.

Четвертая глава посвящена созданию композиционного материала на основе биodeградируемого полимера поли-D,L-лактида с молекулярной массой 180 кДа, содержащего частицы антибиотиков (линкомицин, цефотаксим или гентамицин) в количестве 1-8 масс. % и изучению его свойств и структуры. Показано, что деградация в первые 10 дней не превышает 10%, потом скорость деградация замедляется примерно на 90 дней, а полная деградация может занять до 360 дней. Выяснено, что наиболее плотная и равномерная структура композита достигается при содержании частиц лекарства 3-5 мас. %.

В пятой главе рассмотрено получение и исследование структуры и свойств композиционного материала «основа Ti-Nb-Ta – биodeградируемый полимер». На проволоку сплава Ti-20Nb-5Ta был нанесено полимерное покрытие из полилактида в концентрации 3 масс. % полилактида на 100 мл хлороформа с лекарственными средствами (гентамицином, цефотаксимом и линкомицином) в концентрациях 1, 3 и 5 масс. %. Обнаружено, что полимерное композиционное покрытие не ухудшает механических свойств материала основы и разрушается уже после разрушения металлической основы. Показано, что разработанный композит обладает очень высоким сочетанием механических характеристик, биосовместимости и биомеханической совместимости с тканями человека, а также обеспечивает функцию адресной доставки лекарств. По своим эксплуатационным свойствам разработанный материал заметно превосходит материалы, в настоящее время используемые для изготовления имплантатов.

После каждой главы работы представлены частные выводы, которые полностью отражают их сущность. Общие выводы обоснованы и достоверны, соответствуют поставленным задачам. Диссертация написана доступным языком и аккуратно оформлена. Автореферат диссертации и публикации автора соответствуют представленной работе и достаточно полно ее отражают.

Научная новизна представленной работы состоит в выявлении наиболее эффективных технологических параметров на всех стадиях получения материала-основы и собственно композита, выявлении основных закономерностей влияния режимов термообработки на структуру и свойства сплавов Ti-Nb-Ta в неизученной области концентрации ниобия, выявлении в этих сплавах закономерности фазовых превращений и сопутствующих механических характеристик в зависимости от термического воздействия, уточнения диапазона концентрации бета-стабилизаторов, необходимой для проявления в сплаве-основе эффекта сверхупругости, а также в изучении кинетические зависимости выхода лекарственных средств из полимерной композиции и биосовместимость разрабатываемых материалов.

Работа имеет и большую **практическую значимость**. В частности определено число переплавов и ряд других технологических параметров, необходимых для получения гомогенных бездефектных слитков сплавов Ti-Nb-Ta, исследовано влияние состава сплавов Ti-(15-25)Nb-5Ta (ат. %) и параметров пластической деформации и термообработки на структуру, механические и химические свойства образцов в виде пластин и проволоки, показано, что наименьшим значением модуля упругости ($E = 30$

ГПа), приближенным к значениям модуля упругости тканей человеческого организма, в сочетании с высокими механическими характеристиками ($\sigma_{0,2} = 220$ МПа, $\sigma_b = 600$ МПа, $\delta = 10\%$) обладает сплав Ti-20Nb-5Ta (ат. %) в виде проволоки диаметром 280 мкм и выбраны наиболее благоприятные технологические параметры. Также показано, что сплавы Ti-(15-25)Nb-5Ta (ат.%) обладают лучшей биосовместимостью по сравнению с титаном и нитинолом. Выявлено, что наиболее плотная и равномерная структура (равномерное распределение частиц лекарственных средств по объему) композита «полилактид с молекулярной массой 180 кДа - частицы антибиотиков (линкомицин, цефотаксим или гентамицин)» достигается при содержании 3-5 мас.% частиц лекарственных препаратов.

Значимость для науки и производства результатов, представленных в диссертационной работе, заключается в создании новых композиционных материалов для имплантатов, существенно превосходящих по комплексу свойств существующие материалы, и комплексной технологии их получения. Значимость полученных результатов подтверждается их практическим использованием в профильной организации.

Степень обоснованности и достоверности подтверждается высоким уровнем совпадений экспериментальных данных, полученных различными современными методами исследований, систематическим характером проведения исследований и обработки результатов, а также соответствием полученных результатов с данными других авторов.

Основные результаты опубликованы в 13 печатных работах, в том числе в 6 статьях в журналах, индексируемых в базах Web of Science, Scopus и 2 статьях в Российских журналах, включенных в перечень ВАК. Имеется апробация на нескольких международных и всероссийских конференциях.

К содержанию диссертационной работы имеются следующие **замечания**:

1. В диссертации не затронуто возможное улучшение свойств основы и, соответственно, разработанного композита за счет дополнительной термообработки после закалки, а также за счет обработки поверхности проволоки-основы после волочения.

2. В диссертации для рисунков 3.2.2. 3.2.5.1-3, 3.2.5.10 и ряда других не указано, что на них приведены усредненные типичные диаграммы или графики.

3. Для представленных в диссертационной работе графических зависимостей и таблиц не всегда ясно какое число образцов использовалось для получения результата.

Сделанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертации.

Считаю диссертацию качественной научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная задача создания новых биосовместимых композиционных материалов, обеспечивающих изготавливаемым из них медицинским изделиям высокую эффективность, безопасность и повышенную комфортность функционирования в человеческом организме, а также принципиально новую возможность адресной доставки лекарственных препаратов.

Диссертация Конушкина С.В. полностью соответствует п.9 “Положения о присуждении ученых степеней” ВАК РФ и паспорту специальности 05.16.06 (области исследований п.2, п.3, п.5 и п.6), а ее автор Конушкин Сергей Викторович несомненно заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 - Порошковая металлургия и композиционные материалы.

Официальный оппонент: доктор технических наук (специальности: 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов, 05.03.05 – Процессы и машины обработки давлением), профессор, главный научный сотрудник кафедры технологии и сервиса Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого»

Гвоздев Александр Евгеньевич

Ф.И.О. Гвоздев Александр Евгеньевич
Адрес: 300026, г. Тула, пр-т Ленина, 125.
Тел.: +7 (4872) 35-17-22 (доб. 20-40).
E-mail: technology@tspu.tula.ru
Сайт места работы: <http://tspu.ru>

Подпись А.Е. Гвоздева заверяю



подпись, печать

28.04.2021 г.