

ОТЗЫВ

официального оппонента Ашмарина Артема Александровича на диссертационную работу
Иванова Алексея Евгеньевича **«ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ И ТЕРМОВОДОРОДНОЙ ОБРАБОТОК НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОНОЛИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ И ПОРИСТЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ПО АДДИТИВНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ»**, представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1-металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Актуальность темы диссертации. Имплантируемые изделия, изготавливаемые из промышленных полуфабрикатов титановых сплавов, таких как ВТ6 (Ti-6Al-4V), ВТ1-0 (Grade 1, 2) и Ti-6Al-7Nb, уже давно и успешно применяются в отечественной и зарубежной медицинской практике. Тенденция замены имплантатов из кобальтовых сплавов нержавеющей стали на титановые обусловлена хорошей биологической и механической совместимостью последних, их высокой коррозионной стойкостью, способностью к остеоинтеграции, высокой удельной прочностью, малой магнитной восприимчивостью, обеспечивающей возможность и эффективность МРТ - диагностики. Использование аддитивных технологий в медицине позволит не только решить задачи связанные со сложностью формы и особенностями поверхности имплантатов, но и поспособствовать развитию аддитивных технологий в России.

В связи с этим, тема диссертационной работы Иванова А. Е., посвященная исследованию влияния термической и термоводородной обработок на структуру и механические свойства монолитных изделий и пористых покрытий из титановых сплавов, полученных по аддитивным технологиям, является актуальной.

Анализ содержания диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка цитируемой литературы и 2-х приложений. Объем диссертации составляет 159 страниц, включая 69 рисунков, 15 таблиц и список литературы из 133 наименований.

Во **введении** обсуждается актуальность темы исследования диссертационной работы, сформулированы цели и задачи, представлены научная новизна, практическая значимость результатов работы, приведены основные положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** представлен литературный обзор по теме исследования. В нем рассмотрены требования, предъявляемые к материалам эндопротезов суставов, оценены преимущества и недостатки сплавов на основе титана, применяемых в медицине, сделан обзор различных методов нанесения пористых покрытий, рассмотрены современные методы производства изделий по аддитивным технологиям, их преимущества и недостатки, проведен анализ структуры и свойств 3D-изделий из титана, рассмотрено влияние термической обработки на изменение структуры и комплекс механических свойств образцов и изделий, полученных селективным лазерным сплавлением и прямым лазерным нанесением.

Во **второй главе** описано использованное оборудование, приведены объекты и методы исследования.

В **третьей главе** рассмотрено изменение структуры и свойств образцов из сплава Ti-6Al-4V, полученных селективным лазерным сплавлением (СЛС), после различных

видов обработок в том числе и термоводородной, проведены фрактографические исследования, оценены остаточные напряжения.

В четвертой главе изучены структуры пористых покрытий и влияние различных видов обработки на физико-химический контакт на границе раздела покрытие-основа.

В пятой главе на основании ранее проведённых исследований был опробован разработанный метод получения заданной архитектуры пористого покрытия прямым лазерным нанесением порошка на полусферическую заготовку чаши эндопротеза тазобедренного сустава.

Достоверность материалов, изложенных в диссертации Иванова А. Е. подтверждается большим количеством экспериментальных результатов, полученных на аттестованном современном оборудовании.

Обоснованность научных положений и выводов, сформулированных в диссертационной работе Иванова А. Е. подкреплена обсуждением на 14 научно – технических конференциях и семинарах. Результаты диссертационной работы Иванова А. Е. представлены в 26 научных работах, из них 3 статьи в изданиях, входящих в перечень ВАК и 3 в журналах, включенных в международные системы цитирования.

Научная новизна диссертационной работы Иванова А. Е. заключается в разработке методики расчёта размеров, количества и глубины пор в покрытии, которая позволила сформировать требуемую архитектуру пористого поверхностного слоя из сплава ВТ1-0 на подложке из сплава ВТ6 при прямом лазерном нанесении порошка, в анализе напряженного состояния образцов из сплава ВТ6, полученных селективным лазерным сплавлением, а также в установлении интервала температур при котором обеспечивает формирование физико-химического контакта между основой из сплава ВТ6 и пористым покрытием из сплава ВТ1-0 за счёт протекания процессов микропластической деформации при фазовых превращениях и пониженном пределе текучести, а также выравнивающей диффузии легирующих элементов.

Практическая значимость подтверждается тем, что разработанный метод получения заданной архитектуры пористого покрытия из порошка сплава ВТ1-0, полученного прямым лазерным нанесением, с преобладанием пор размером от 100 до 400 мкм. был использован ФГУП «ЦИТО» при нанесении пористого покрытия на чаши вертлужного компонента эндопротеза тазобедренного сустава, что подтверждено соответствующим актом, разработанная термической обработки образцов из сплава ВТ6 с пористым покрытием из сплава ВТ1-0, включающая вакуумный отжиг была внедрена в АО «Имплант МТ» и ФГУП «ЦИТО» для производства чаш вертлужного компонента эндопротеза тазобедренного сустава, что подтверждено соответствующими актами, технология термической обработки заготовок из сплава ВТ6, полученных методом селективного лазерного сплавления, включающая вакуумный отжиг была использована АО «Имплант МТ» при изготовлении эпифизарного бедренного компонента коленного сустава.

Замечания по диссертационной работе следующие:

1. Не до конца понятно, чем объясняются различия в текстуре образцов полученных методом селективного лазерного спекания при изменении их размеров.
2. Вызывает интерес совпадение значений остаточных напряжений в образцах из сплава Ti-6Al-4V в исходном состоянии и после ТВО.
3. На 48 странице в названии пункта 1.4.9 допущена техническая ошибка.

4. В литературном обзоре рисунки 1.14, 1.15 и 1.19, к сожалению, лишены масштабной линейки.

Сделанные замечания не снижают научной и практической значимости работы.

Заключение.

Диссертационная работа Иванова А. Е. «**ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ И ТЕРМОВОДОРОДНОЙ ОБРАБОТОК НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОНОЛИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ И ПОРИСТЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ПО АДДИТИВНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ**» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1-металловедение и термическая обработка металлов и сплавов является самостоятельной законченной квалификационной работой, которая выполнена на высоком научном уровне и вносит заметный вклад в решение проблем медицины и развитие аддитивных технологий. Диссертационная работа соответствует паспорту научной специальности 2.6.1 – металлловедение и термическая обработка металлов и сплавов и соответствует всем требованиям п. 9 Положения ВАК о присуждении ученых степеней, предъявляемым к диссертационным работам. Автор диссертации, Иванов А. Е., заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Ашмарин Артем Александрович, заведующий лабораторией кристаллоструктурных исследований (№ 13), к. т. н.



1.12.27

Подпись Ашмарина Артема Александровича удостоверяю,
Ученый секретарь ИМЕТ РАН,
Кандидат технических наук



О.Н. Фомина

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
ИНСТИТУТ МЕТАЛЛУРГИИ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ им. А.А. Байкова
Российской академии наук (ИМЕТ РАН)
Адрес: 119334, г. Москва, Ленинский проспект, 49
Тел.: 7 (499) 135-2060
E-mail: imet@imet.ac.ru