

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию **Иванова Алексея Евгеньевича** на тему: «Влияние термической и термоводородной обработки на структуру и механические свойства монокристаллических изделий и пористых покрытий из титановых сплавов, полученных по аддитивным технологиям», представленную к защите по специальности 2.6.1 – металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

Титановые сплавы, благодаря их уникальным сочетанием высоких прочностных и коррозионных свойств, находят все большее применение в медицинской практике. Хорошая биосовместимость и способность к остеоинтеграции обуславливает интенсивное их внедрение в качестве имплантов и аугментов, используемых в травматологии и хирургии. Так как размеры и формы таких изделий часто определяются конкретными анатомическими особенностями человеческого тела, то применение аддитивных технологий изготовления индивидуальных изделий становится весьма актуальной задачей. При этом возникает возможность, регулируя режимы процесса, создавать оптимальную архитектуру пористой поверхности с определенным распределением размеров пор, и, тем самым, обеспечить повышенную прочность контакта создаваемого покрытия с основой. В этой связи необходимо детальное изучение процессов структурообразования в сплавах титана, полученных различными методами аддитивных технологий, и установление взаимосвязи параметров микроструктуры с физико-механическими и технологическими свойствами производимых изделий. В рецензируемой работе Иванова А.Е. рассматриваются именно эти проблемы структурообразования, что говорит об **актуальности** темы диссертации.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка цитируемой литературы, включающего 133 источника, и 2-х приложений. Работа изложена на 159 страницах и содержит 69 рисунков и 15 таблиц.

В диссертационной работе соискателем анализируется состояние вопроса по теме диссертации, рассматривая различные методы нанесения пористых покрытий и современные методы производства изделий по аддитивным технологиям; анализирует роль термической и термоводородной обработок в формировании структуры и механических свойств сплавов. На

основании сделанного обзора диссертант обоснованно формулирует цель работы и задачи исследований. Описаны материалы и методы исследования, который автор использовал в своей диссертационной работе. Им использованы традиционные, взаимодополняющие методы исследования структуры и свойств, применяемые в металловедении, что в определенной степени гарантирует **достоверность** результатов работы.

Автор рассматривает влияние термической и термоводородной обработок на структуру и свойства образцов из сплава Ti6Al4V, полученных методом селективного лазерного сплавления (СЛС). При этом анализируется ориентация образца в процессе изготовления и роль режимов термической и термоводородной обработок в формировании соответствующей структуры и свойств сплава. Анализируются структуры и свойств покрытий, полученных различными методами, и роль вакуумного отжига и/или термоводородной обработки в получении более качественного контакта между покрытием и основой. На основе проведенных исследований диссертант разрабатывает технологии обработки медицинских изделий, полученных методами аддитивных технологий.

На основании выполненных исследований диссертант делает общие выводы, которые по мнению оппонента в основном хорошо обоснованы.

Выполненная работа безусловно содержит **научную новизну** и обладает хорошей **практической значимостью**. К наиболее значимым **научным результатам** оппонент относит результаты анализа формирующихся остаточных напряжений в образцах из сплава Ti6Al4V и проведенный анализ повышения сцепления покрытий при вакуумном отжиге изделий. Автор убедительно показывает роль β -отжига в формировании хорошего сцепления покрытия с образцом за счет протекания процессов микропластической деформации и выравнивающей диффузии.

Практическая значимость работы заключается в разработке технологий комплексной обработки изделий с покрытиями, которая внедрена в производство в АО «Имплант» и ФГУП «ЦИТО» для производства чаш ветлужного компонента эндопротеза тазобедренного сустава. Практическую значимость также имеют результаты, показывающие возможность варьирования режимами закалки и соответствующего отжига для получения заданной твердости при колебании химического состава сплава в пределах марки, что также внедрено в производство.

Замечания по работе:

1. Диссертант, анализируя роль вакуумного отжига в формировании более качественного сцепления покрытия с образцом, ничего не говорит о размере β -зерна, которое при такой обработке вырастает до достаточно больших размеров и, тем самым, уменьшает вязко-пластические свойства изделия. Необходима оценка этих свойств для гарантированного использования метода в промышленном производстве.
2. В работе не описан механизм процесса, обуславливающего увеличение площади контакта при вакуумном отжиге. Какую роль при этом играет оксидный слой на поверхности основы?
3. Предлагая варьировать температуры закалки для получения при последующем отжиге требуемый уровень твердости, диссертант не анализирует фазовый состав закаленных образцов. В то же время следует ожидать при рассматриваемом интервале температур закалки – 920...1000°C изменение фазового состава и смену типа формирующегося мартенсита. Последнее должно сказаться на протекании последующего отжига, что автор не учитывает.
4. Обозначая анализируемый сплав, автор использует обозначения как VT6, так и Ti6Al4V, что не совсем корректно, так как их составы могут отличаться как по примесям, так и основным элементам. Диссертанту следует остановиться на одном обозначении.

Указанные замечания не затрагивают основных положений и выводов, сделанных в работе, которая хорошо оформлена и проиллюстрирована результатами экспериментов.

Таким образом, диссертационная работа **Иванова Алексея Евгеньевича** выполнена на высоком научно-техническом уровне. Она представляет собой самостоятельную законченную научно-квалификационную работу, в которой рассмотрены процессы структурообразования в образцах и изделиях из сплавов титана, полученных селективным лазерным сплавлением или прямым лазерным напылением, и их влияние на свойства материалов.

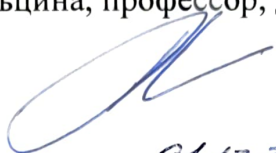
Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли апробацию на 14 научно-технических конференциях, опубликованы в 26 научных работах, из них 3 в изданиях, входящих в перечень ВАК и 3 в журналах, включенных в международные системы цитирования.

Автореферат и опубликованные работы полностью отражают содержание диссертации.

По научному уровню, полученным результатам, содержанию и оформлению представленная диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям п.п. 9-16 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденном Постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор **Иванов Алексей Евгеньевич**, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1. «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Официальный оппонент

Заведующий кафедрой термообработки и физики металлов
Уральского федерального университета имени первого
Президента России Б.Н.Ельцина, профессор, доктор техн.наук



Попов Артемий Александрович

01.12.22.

Подпись А.А. Попова заверяю:

**УЧЁНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
УРФУ
МОРОЗОВА В.А.**

620002, Екатеринбург. ул. Мира, 19
Уральский федеральный университет
Тел. +79126052477
E-mail: a.a.popov@urfu.ru

