

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Руновой Юлии Эдуардовны «Термоводородная обработка пористого материала из диффузионно сваренных волокон титана», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – «Материаловедение (Машиностроение)»

### Актуальность темы

Использование титановых сплавов для изготовления медицинских имплантатов обусловлено их высокой коррозионной стойкостью, биологической инертностью и высокой удельной прочностью по сравнению с другими металлическими материалами. В то же время низкая износостойкость титановых сплавов и высокая стоимость титановых имплантатов сдерживают их более широкое применение.

Применяемые в настоящее время технологии получения пористого остеоинтегрирующего материала (ПОМ) на основе титана не отвечают необходимому уровню медико-технических требований. В этом отношении перспективным является использование в качестве исходного материала волокна титана. В то же время, применяемые для получения ПОМ температуры нагрева при спекании и диффузионной сварке сопряжены с ухудшением структуры и свойств материала.

Для решения этой задачи перспективно применение термоводородной обработки (ТВО), которая основана на обратимом легировании полуфабрикатов из титановых сплавов водородом. В то же время сведения о влиянии ТВО на структуру и свойства волоконных ПОМ и покрытий в научной литературе отсутствуют.

Все изложенное подтверждает высокую актуальность представленной работы, направленной на решение проблемы повышения свойств волоконных ПОМ из титановых сплавов.

**Цель работы** определена как исследование возможности получения пористых остеоинтегрирующих материалов и покрытий из волокон титана методами диффузионной сварки и термоводородной обработки.

В этой связи в диссертационной работе Руновой Юлии Эдуардовны исследовано влияние пористости материала из волокон титана на кинетику наводороживания, определены закономерности влияния режимов наводороживания и вакуумного отжига на изменение структуры и свойств монолитного и пористого технического титана; влияние режимов диффузионной сварки и ТВО на структуру и свойства ПОМ, пористого

покрытия и монолитной подложки из титанового сплава ВТ6; сформулированы рекомендации по технологии получения ПОМ и пористых покрытий на медицинских имплантатах различного назначения.

### **Научная новизна положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.**

Считаю, что автор правильно выделила основные научные результаты работы:

1. Установлены закономерности влияния объемной пористости и характеристического размера элементов материала на кинетику насыщения водородом титановых сплавов. Показано, что после наводороживания монолитного материала с пористым покрытием до средней концентрации свыше 0,6%, содержание водорода в последнем может превышать в два раза его концентрацию в основе, что приводит к образованию в его структуре вторичных гидридов и хрупкому разрушению.

2. Показано, что при введении 0,6 и 0,8% водорода при температуре 650 °С и ниже в сплавы ВТ1-0 и ВТ6, соответственно, в их структуре сохраняется первичная  $\alpha$ -фаза, препятствующая интенсивному росту  $\beta$ -зерна, что обеспечивает после вакуумного отжига формирование дисперсной  $\alpha$ -фазы с преимущественно пластинчатой морфологией и высокий комплекс механических свойств сплавов.

3. Установлено, что фазовая перекристаллизация, протекающая в процессе введения и удаления водорода в пористый материал из волокон технического титана, способствует преобразованию механических контактов волокон между собой и с поверхностью монолитного материала в физические, что обеспечивает повышение прочности их соединения.

4. Обнаружено, что при ТВО монолитных образцов из сплава ВТ6 с пористым покрытием из сплава ВТ1-0 происходит их коробление после введения водорода, которое сохраняется и при последующем вакуумном отжиге и приводит к частичному отслоению покрытия от основы. Причиной этого являются различия в скорости поглощения водорода монолитным и пористым материалами и развитие  $\beta \rightarrow \alpha$  и  $\beta \rightarrow \alpha + \delta$  превращений, сопровождающихся значительным объемным эффектом.

### **Практическая значимость полученных автором результатов**

Разработаны технологические рекомендации на получение пруткового и листового ПОМ из волокон ВТ1-0, обеспечивающие высокий комплекс их



механических характеристик, которые использованы при создании макетов протезов тел позвонков в ЗАО "КИМПФ".

Разработаны также рекомендации по технологии получения пористого покрытия на монолитных имплантатах из сплава ВТ6, которые позволяют повысить адгезионную прочность соединения покрытия и основы при сохранении комплекса характеристик работоспособности монолитного имплантата. Результаты работы использованы в ЗАО "Имплант МТ" при разработке макетов новых медицинских изделий.

**Достоверность полученных результатов определяется:**

- применением стандартных методов определения механических характеристик при статическом нагружении на сертифицированном оборудовании;
- металлографическими исследованиями с использованием оптического и электронного микроскопов;
- применением рентгеноструктурного анализа при нормальной и повышенной температурах;
- использованием для изучения фазовых превращений дифференциального сканирующего калориметра;
- статистической обработкой результатов испытаний.
- критическим анализом мирового опыта получения пористого остеоинтегрирующего материала (ПОМ) на основе титана и сопоставлением полученных результатов с доступными литературными данными.

По тексту диссертационной работы и автореферата можно сделать следующие **замечания:**

1. В диссертации (стр. 88) отмечается, что процесс термодиффузионного насыщения титана водородом сложен и полнота его протекания определяется набором большого числа параметров. В работе приводится подробное описание влияния значений каждого из параметров на насыщение водородом титана.

В этой связи было бы полезным в исследовании применить метод планирования многофакторного эксперимента, что позволило бы осуществить ранжирование параметров на важные и второстепенные. Кроме того, были бы получены математические зависимости влияния параметров процесса в выбранном диапазоне на насыщение титана водородом.

2. В работе доказано, что термоводородная обработка увеличивает долю физических контактов волокон материала ПОМ, полученного диффузионной сваркой при низких температурах, и повышает прочность указанного материала. Было бы полезным акцентировать внимание на механизме этого явления.

3. Диффузионная сварка волокон ПОМ проводилась при температуре 900 °С со временем выдержки 1 час. Отмечалось, что повышение температуры диффузионной сварки отрицательно сказывается на пластических свойствах материала за счет укрупнения зерен  $\alpha$ -фазы.

Учитывая, что процесс диффузионной сварки определяется еще и временем выдержки под давлением при повышенной температуре, следовало бы рассмотреть свойства соединений, полученных при температуре выше 900 °С, но с короткой выдержкой порядка 30 минут.

Сделанные замечания не снижают общей высокой оценки диссертации.

#### **Заключение:**

В целом представленная диссертация выполнена на высоком научно-техническом уровне и представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой изложена научно обоснованные технические и технологические решения по технологии получения пористого покрытия на монолитных имплантатах из сплава ВТ6, которые позволяют повысить адгезионную прочность соединения покрытия и основы при сохранении комплекса характеристик работоспособности монолитного имплантата.

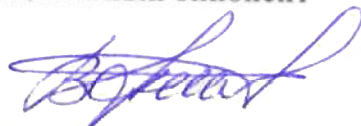
Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли апробацию на 3 научно-технических конференциях, опубликованы в 4 статьях в ведущих рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК. Результаты работы могут быть использованы в области изготовления имплантантов из титановых сплавов.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

По научному уровню полученных результатов, содержанию и оформлению представленная диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям п.п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденном Постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор Рунова Юлия Эдуардовна, заслуживает присуждения ученой

степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – "Материаловедение (Машиностроение)".

**Официальный оппонент**



Овчинников Виктор Васильевич

доктор технических наук, профессор, академик Международной академии информатизации, начальник лаборатории сварочных процессов АО «Российская самолетостроительная корпорация «МиГ», профессор кафедры "Материаловедение" ФГБОУ ВО "Московский политехнический университет"

Подпись Овчинникова В.В. удостоверяю.

Начальник Управления по личному составу и трудовым отношениям



Н.Ю. Калиничева

Акционерное общество «Российская самолетостроительная корпорация «МиГ»; Почтовый адрес: 125284, Москва, 1-й Боткинский проезд, д.7; Телефон: +7 (495) 721-81-00; Адрес электронной почты: [mig@migavia.ru](mailto:mig@migavia.ru)

 22.11.2017г