

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
(МИНОБРНАУКИ РОССИИ)

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
«Рыбинский государственный авиационный
технический университет
имени П. А. Соловьева»
(РГАТУ имени П. А. Соловьева)

Пушкина ул., д. 53, Рыбинск,
Ярославская обл., 152934.
Тел. (4855) 28-04-70. Факс (4855) 21-39-64.
E-mail: root@rsatu.ru

06.11.24 № *0802/3156*

УТВЕРЖДАЮ»
Проректор по науке и
цифровой трансформации



Сутягин А.И.

2024 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева» на диссертационную работу Слезко Максима Юрьевича «Влияние модифицирования поверхности полиионным пучком на структуру и свойства изделий медицинского назначения из сплава ВТ1-0», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 «Материаловедение» (технические науки)

Актуальность темы диссертации. В настоящее время эндопротезы изготавливаются из титановой штамповки с головкой из сплава "комохром" (Co – 60%, Mo – 5%, Cr – 35%) с использованием прессовой посадки. Придание протезу окончательной формы производится рихтовкой вручную, при этом между стержнем и головкой образуется щель, которая заметно ухудшает качество протеза. Применение титана как конструкционного материала для имплантатов вполне оправдано, однако при этом возникает проблема недостаточной прочности поверхностного слоя протеза, что можно исправить проведением ионной имплантации. Однако в настоящее время отсутствуют данные по взаимосвязи структурно-фазового состояния и физико-химических характеристик поверхностных слоев титана ВТ1-0 в различном исходном состоянии по размеру зерна, с различными вариантами

доимплантационной обработки в условиях ионного облучения. Поэтому выполненные соискателем исследования и полученные результаты являются актуальными. Актуальность диссертации подтверждается также тем, что исследования выполнялись автором в рамках Государственного контракта на выполнение работ для государственных нужд Российской Федерации ГЗ (ЕЗН) №FZRR-2020-0023.

Общая характеристика работы. В работе автором приведено доказательство того, что технология изготовления материала катода имплантера оказывает существенное влияние на сортовой состав ионов в пучке. В случае использования катодов с содержанием меди и серебра с соотношением 50:50, полученных путем сплавления компонентов, по сравнению с материалом катода, полученным порошковой металлургией, наблюдается рост содержания высокозарядных ионов и проявляется наличие кластерных ионов меди и серебра.

Показано, что в сплаве ВТ1-0 с размером зерна 3,73 и 0,51 мкм, по мере удаления от поверхности обработанного образца в глубь материала образуется градиентная структура, представляющая собой 5 различающихся по элементному и фазовому составу слоев: 1 – оксидный слой; 2 – ионно-легированный слой; 3 – слой с измельченной зеренной структурой; 4 – слой остаточного влияния имплантации; 5 – слой с исходной зеренной структурой, при этом толщина слоев меняется в зависимости от состояния исходной мишени, концентрации внедряемых ионов и времени энергетического воздействия.

В работе также было установлено, что при всех значениях флюенса имплантации толщина ионно-легированного слоя при использовании катода имплантера, изготовленного методом сплавления компонентов превышает при аналогичных значениях флюенса толщину ионно-легированного слоя для катода, полученного порошковой металлургией, а при значении флюенса в диапазоне $(5-13) \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ существенной разницы в толщине ионно-легированного слоя в основном металле и металле шва не наблюдается, существенное превышение толщины ионно-легированного слоя металла шва над основным металлом наблюдается, начиная только со значения флюенса имплантации $5,5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$. Автором также было показано существование существенного различия в пороговых значениях флюенса имплантации моноионов и кластерных ионов аргона, при которых проявляется процессе поверхностной миграции атомов мишени. Применение кластерных ионов аргона $\text{Ar}_{(500)}$ позволяет обеспечить сглаживание рельефа поверхности титановой мишени при значении флюенса имплантации в пределах $(2,5-7,5) \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$, в то время как при облучении моноионами аргона такой же

эффект проявляется при значении флюенса $(2,5-5) \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$. Легирование титана 3,5–4,8 ат.% тантала при ионной имплантации приводит к снижению скорости коррозии материала в 68%-ном кипящем растворе азотной кислоты в 15,5–16 раз. Скорость коррозии материала ионно-легированного слоя, содержащего 22,5 ат.% Ta, в 190 раз меньше по сравнению с титановым сплавом ВТ1-0. Имплантация меди, серебра и тантала в поверхностный слой суставной части полого сварного эндопротеза из титанового сплава ВТ1-0 существенно снижает риск возникновения инфекционных осложнений после установки эндопротеза. Рациональная концентрация серебра в ионно-легированном слое при этом составляет 7–9 ат. % при концентрации меди на уровне 28–32 ат.%. Результатом выполненных исследований явилась разработка математической модели, связывающей содержание серебра и меди в материале имплантера, величину флюенса облучения с содержанием указанных элементов в ионно-легированном слое.

Научная новизна работы Слезко Максима Юрьевича заключается в разработке нового процесса модифицирования поверхности титанового сплава ВТ1-0, при котором совмещены процессы облучения кластерными ионами аргона и имплантация ионами металлов (меди и серебра), в доказательстве, что при облучении кластерными ионами аргона с флюенсом до $7,5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ происходит формирование пористой структуры поверхности титановой подложки имплантата с размером пор 95–150 мкм, а начиная с порогового значения флюенса $9,2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ происходит вскрытие крышек блистеров и образование пор в поверхности титановой подложки, а также в разработке математической модели, связывающей содержание меди и серебра в катоде имплантера, величину флюенса облучения и концентрацию меди и серебра в ионно-легированном слое.

Практическая значимость диссертационной работы не вызывает сомнения и заключается в разработке процесса формирования биосовместимых серебросодержащих поверхностных слоев на деталях из титановых сплавов и составов катодов имплантера для проведения облучения деталей из титанового сплава ВТ1-0, входящих в состав эндопротезов и дентальных имплантов и разработке технологического обработки рабочих поверхностей имплантатов из титановых сплавов. Проведенные испытания показали существенное повышение коррозионной стойкости поверхности титанового сплава ВТ1-0 и его биосовместимости с тканями организма.

Достоверность результатов работы обеспечена использованием поверенного и сертифицированного оборудования и методик исследования, проведением исследований и испытаний в соответствии с требованиями научно-технической документации, действующей на территории Российской

Федерации (ГОСТ, ОСТ); хорошим совпадением экспериментальных и теоретических результатов, использованием методов математической статистики при обработке результатов.

Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли достаточную апробацию на научно-технических конференциях, опубликованы в 15 печатных работах, в том числе в 6 входящих в перечень ВАК и одной монографии. Получен патент РФ на изобретение №2760453 «Способ формирования серебросодержащего биосовместимого покрытия на имплантатах из титановых сплавов» и 3 свидетельств на регистрацию баз данных. Результаты диссертационной работы могут быть использованы в медицинской промышленности.

Автореферат и опубликованные работы полностью отражают содержание диссертации.

По диссертационной работе можно сделать следующие замечания:

1. Автором отмечено, что дополнительное введение в сплав тантала в количестве 3,2–4,8 ат. % позволяет в 150–190 раз снизить скорость коррозии титана, но не приведены данные по объяснению механизма данного явления;
2. В последние годы для изготовления эндопротезов стали активно использоваться и более сложнелегированные ($\alpha+\beta$) и β -титановые сплавы, которые показывают более высокую стойкость, на сколько, полученные результаты применимы и для них;
3. Автором для изготовления изделий рекомендована технология равноканального прессования, позволяющая получать наноструктурированную заготовку, однако, известно, что такая структура неустойчива, поэтому интерес представляли бы данные по исследованию кинетики протекания рекристаллизационных процессов при последующем формообразовании, и их влияние на конечные свойства изделия;
4. На графиках, приведенных в автореферате и диссертации, отсутствуют доверительные интервалы, а в таблицах данные по разбросу свойств;

Однако имеющиеся недостатки не снижают качество и ценность проведенных автором исследований, и носят частный характер. Таким образом, диссертационная работа Слезко Максима Юрьевича выполнена на высоком научно-техническом уровне и представляет собой самостоятельную

законченную научно-квалификационную работу, в которой изложены научно-обоснованные технические и технологические решения по изготовлению эндопротезов из титановых сплавов.

По научному уровню, полученным результатам, 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 Слезко Максим Юрьевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 – Материаловедение (технические науки).

Отзыв рассмотрен на заседании кафедры «Материаловедения, литья и сварки», протокол № 3/24 от 22.10.2024 года. На заседании кафедры присутствовало 13 членов кафедры из 13. Результаты голосования: «за» – 13, против – нет, воздержавшихся – нет.

Заведующий кафедрой
«Материаловедения, литья и сварки»
доктор технических наук, профессор



Шатульский
Александр Анатольевич

Подпись Шатульского А.А. заверяю
Начальник отдела кадров



И.С. Сударкина