

06 ДЕК 2022

№ 01.09-07/938

На № _____ от _____

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по науке УрФУ
д.ф-м.н., профессор

Германенко А.В.

2022__г.



ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу

Орлова Алексея Алексеевича

«Влияние термической и вакуумной ионно-плазменной обработок на структуру и свойства полуфабрикатов и изделий из сплавов медицинского назначения», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1. «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»

Актуальность работы

Титан и сплавы на его основе интенсивно вытесняют из медицины нержавеющей стали и кобальтхромовые сплавы и становятся основными конструкционными материалами для изготовления медицинских имплантатов и хирургического инструмента.

Титановые сплавы медицинского назначения при высокой прочности имеют высокую коррозионную стойкость в биологических средах. Это обусловлено существованием на их поверхности оксидной пленки нанометрической толщины. Именно она обеспечивает коррозионную стойкость, препятствует выходу ионов компонентов в окружающие ткани после установки титановых имплантатов в организм человека и обеспечивает хорошую биосовместимость.

Однако сила сцепления защитной оксидной пленки с титаном низкая. Поэтому в процессе эксплуатации имплантатов в условиях действия механических контактных напряжений она отслаивается от основы, что приводит к интенсивному износу титановых компонентов имплантатов. Это может приводить к попаданию продуктов износа в узел трения или возникновению эффекта «холодной» сварки, например, при использовании резьбовых соединений титановых компонентов. Увеличить износостойкость титановых сплавов возможно с помощью покрытий. В частности, применяю нитридные или МДО-покрытия. Наилучшим образом зарекомендовало себя модифицирование поверхности методом вакуумного ионно-плазменного азотирования. Однако остаются открытыми вопросы надёжности изделий с таким покрытием при длительной эксплуатации, а также возможности применения этой технологии для сплавов на основе кобальта с целью повышения их коррозионной стойкости.

Кроме того, для обеспечения высокой износостойкости необходима и твёрдость в изделиях на уровне 37-39 ед. HRC. Поэтому необходимо разработать экспресс метод выбора режима термической обработки независимо от колебаний химического состава сплава в рамках паспортных значений для обеспечения заданной твердости в полуфабрикате.

Таким образом, исследование влияния вакуумного ионно-плазменного азотирования и/или нанесения нитридного покрытия на структуру поверхности медицинских материалов и износостойкость, а также разработка экспресс-метода выбора режимов термической обработки, обеспечивающих требуемую твёрдость полуфабрикатов из сплава ВТ6, является актуальной научной и практической задачей.

Общая характеристика работы

Автором рассмотрены основные металлические материалы, применяемые для изготовления медицинских изделий, их преимущества и недостатки. Рассмотрено влияние термоводородной и термической обработок, а также методов поверхностного упрочнения на изменение структуры, фазового состава, механические, технологические и эксплуатационные свойства титановых сплавов.

Автором показано, что вакуумное ионно-плазменное азотирование повышает микротвердость поверхности $HV_{0,05}$ образцов из сплава ВТ6 почти в 2 раза по сравнению с исходным состоянием (с 3600 МПа до 6900 МПа) за счет формирования твердых растворов азота α_N и β_N в приповерхностном слое, а нанесение нитрида титана TiN повышает микротвердость в 3 раза до 11600 МПа.

Большое внимание в работе автором было уделено решению проблемы эффекта холодной сварки на головках винтов из титанового сплава ВТ6 для

остеосинтеза. Установлено, что вакуумная ионно-плазменная обработка поверхности способствует уменьшению крутящего момента при выкручивании винта как в воздушной среде, так и после выдерживания конструкции в 0,9% растворе NaCl.

В результате проведённых автором исследований было установлено, что в процессе эксплуатации эндопротеза тазобедренного сустава в организме человека происходит изменение химического состава модифицированного поверхностного слоя: растворение нитридов титана, диффузия азота вглубь изделия и формирование на поверхности оксинитридной нанометрической пленки. Показано, что в отличие от оксидной плёнки наноразмерной толщины, которая не защищает титан от износа, оксинитридная плёнка сохраняет высокую износостойкость, что подтверждено испытанием на долговечность работы шаровой головки.

На заключительном этапе работы было исследовано влияние объёмной доли α -фазы на температуру полиморфного превращения прутков из сплава ВТ6. На основании проведённых исследований разработана технология термической обработки прутковых заготовок из сплава ВТ6, обеспечивающая получение необходимой твердости не зависимо от колебаний химического состава в пределах паспортных значений, что позволило упростить технологию изготовления шаровых головок и снизить себестоимость их производства

Научная новизна диссертационной работы Орлова А. А. не вызывает сомнения и заключается в следующем:

- доказано, что в процессе длительной эксплуатации в биологически активной среде организма человека на поверхности шаровых головок эндопротезов тазобедренного сустава из сплава ВТ6 происходит преобразование нитридного слоя в оксинитридный. Установлено, что это не оказывает влияния на их твёрдость и износостойкость;

- разработан экспресс-метод выбора оптимальной температуры изотермической обработки сплава ВТ6 в зависимости от его твёрдости в закалённом состоянии, обеспечивающий получение заданных значений твердости независимо от изменений химического состава сплава в паспортных пределах.

Рекомендации по практическому использованию основных результатов работы

Разработана технология вакуумной ионно-плазменной обработки сплава ВТ6, включающая азотирование при температуре 580°C в среде аргона и азота в соотношении 80:20 в течение 40 минут и нанесение нитридного покрытия при 400°C в течении 30 минут, обеспечивающей высокую износостойкость поверхности. Разработанная технология термической обработки прутковых

заготовок из сплава ВТ6, обеспечивающая получение необходимой твердости, может быть использована для производства шаровых головок эндопротеза тазобедренного сустава.

Разработанная технология вакуумной ионно-плазменной обработки сплава ВТ6, включающая проведение азотирования при температуре 580°C в среде аргона и азота в соотношении 80:20 в течение 40 минут и нанесение нитридного покрытия при 400°C в течении 30 минут, обеспечивающая высокую износостойкость поверхности, может быть применена для обработки головок винтов из сплава ВТ6.

Разработанные технологии были внедрены на предприятиях ФГУП «ЦИТО» и АО «Имплант МТ» для обработки полуфабрикатов и изделий из сплава ВТ6.

Достоверность полученных результатов обеспечена использованием современного поверенного оборудования с лицензионным программным обеспечением, проведением испытаний и измерений в соответствии с ГОСТ, хорошим совпадением экспериментальных данных и теоретических расчетов, использованием математической статистики при обработке результатов.

Замечания:

1. Диссертант утверждает об образовании оксинитрида титана TiN_xO_y в процессе длительной эксплуатации импланта в организме человека. Однако, судя по приведенным результатам, такое утверждение требует дополнительного подтверждения.

2. Анализируя изменение периодов решетки α -фазы на образцах после длительной эксплуатации диссертант рассматривает только изменение периода «а», в то время как положение рассматриваемых дифракционных линий связано и с периодом «с». Поэтому вывод об изменении «а» требует уточнений.

3. В работе анализируется изменение температур нагрева под закалку от 930 до 1000°C. При этом следует ожидать изменение типа формирующегося мартенсита и, следовательно, различный характер последующего отпуска, что автором не обнаружено. Этот момент требует уточнений или объяснений, так как кинетики распада α' и α'' -мартенситов различны

Сделанные замечания не снижают научной и практической ценности диссертации и общей высокой оценки работы.

Диссертационная работа Орлова Алексея Алексеевича выполнена на высоком научно-техническом уровне. Она представляет собой самостоятельную законченную научно-квалификационную работу, в которой изложены научно-

обоснованные технические и технологические решения, обеспечивающие повышение износостойкости изделий из титанового сплава ВТ6 за счет формирования в них заданной поверхностной и объемной структуры при термической и вакуумной ионно-плазменной обработках.

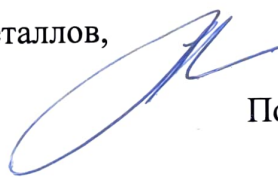
Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли апробацию на 15 научно-технических конференциях, опубликованы в 26 печатных работах, из них 1 в изданиях, входящих в перечень ВАК и 6 в журналах, включенных в международные системы цитирования.

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 **Орлов Алексей Алексеевич**, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1. «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»

Отзыв рассмотрен на заседании кафедры термообработки и физики металлов института новых материалов и технологий УрФУ, протокол № 12 от 1 декабря 2022 года. На заседании присутствовало 34 членов из 38. Результаты голосования: «за» - 34, против – нет, воздержавшихся - нет.

Заведующий кафедрой
термообработки и физики металлов,
профессор, д.т.н.



Попов Артемий Александрович

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный
университет им. первого Президента России
Б.Н. Ельцина». 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19
E-mail: rector@urfu.ru
Тел.: +7343-3745964