

## ОТЗЫВ

**официального оппонента,**

**доктора технических наук *Лепешкина Александра Роальдовича***

на диссертацию Фомина Александра Александровича на тему:  
«Научные основы термических процессов получения оксидных покрытий на титановых медицинских изделиях с применением токов высокой частоты»,  
представленную на соискание ученой степени доктора технических наук  
по специальностям: 05.09.10 – Электротехнология  
и 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы и 7 приложений. Список литературы содержит 332 наименования. Общий объем работы - 421 стр., в том числе 91 рисунок и 46 таблиц.

### **Актуальность темы диссертационной работы**

Одним из эффективных методов повышения физико-механических свойств является термическая обработка токами высокой частоты (ТВЧ). Данный метод позволяет существенно ускорить процесс упрочнения приповерхностного слоя по сравнению с другими методами обработки, при этом повышается качество изделий и технико-экономическая эффективность данного процесса.

В диссертационной работе решается актуальная научно-техническая проблема повышения физико-механических характеристик поверхности малогабаритных титановых изделий медицинской техники с разработкой новых технологических способов упрочнения и модифицирования поверхности с использованием индукционного высокочастотного нагрева в комбинации с процессами электроискрового легирования и электроплазменного напыления и с учетом совместимости с биологическими тканями.

Разработанные методы и научно-технические решения расширяют область применения обработки ТВЧ в сочетании с дополнительными физико-химическими и электрофизическими видами воздействий для упрочняющей обработки и получения полифункциональных покрытий на конструкционных металлических материалах, используемых в производстве изделий медицинской техники, машино- и приборостроения.

Актуальность темы диссертационной работы также подтверждается исследованиями, которые выполнялись по гранту РФФИ, грантам Президента РФ и ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России», международной программе «Михаил Ломоносов», а также и другим научным программам и грантам.

### **Степень обоснованности и достоверность результатов**

Обоснованность и достоверность полученных результатов обеспечивается комплексным использованием взаимодополняющих современных и высокоточных аналитических методов исследования, корректным выполнением расчетных процедур, согласованностью теоретических и экспериментальных данных с известными данными других исследователей, а также практическим использованием результатов и комплексным изучением функциональных характеристик и параметров технологических процессов создания оксидных и композиционных покрытий в условиях системного охвата основных принципов обработки ТВЧ, электроискрового легирования и электроплазменного напыления, которые использованы в производстве малогабаритных изделий медицинской техники.

### **Значимость результатов, полученных в диссертации**

Наиболее существенными являются следующие научные результаты:

1. Разработка математической модели обработки ТВЧ титановых малогабаритных изделий с учетом их геометрических особенностей, изменения тепло- и электрофизических свойств, тепловых потерь, вызванных конвекцией, излучением и процессом формирования оксидного покрытия.
2. Разработка и обоснование технических решений компоновки системы «индуктор-изделие» для оксидирования образцов-дисков и имплантируемых малогабаритных изделий, определение кинетических закономерностей индукционного нагрева изделий для получения оксидных покрытий с морфологически гетерогенной структурой.
3. Обоснование технологических способов получения композиционных покрытий на металлоизделиях за счет комбинированных процессов: модификации коллоидными наночастицами гидроксиапатита (КНЧ-ГА) поверхности оксидных покрытий и последующего спекания ТВЧ; электроискрового легирования танталом или электроплазменного напыления покрытий титана на поверхность металлоизделий с последующей обработкой ТВЧ.
4. Выявление закономерностей изменения состава, структурных параметров и комплекса физико-механических свойств оксидных покрытий образцов технического титана и титанового сплава ВТ16, подвергнутых обработке ТВЧ.
5. Установление особенностей структурообразования и изменения физико-механических свойств композиционных покрытий разных систем, полученных за счет применения комбинированных методов.
6. Определение влияния технологических условий предварительной активации ТВЧ титановых образцов на состав, структуру и свойства электроплазменных покрытий гидроксиапатита. Проведение комплексной проверки функциональных качеств титановых образцов и медицинских изделий с оксидными и композиционными покрытиями, определение эффективности применения имплантатов с экспериментальными покрытиями и разработка технологических рекомендаций по формированию высококачественных покрытий с необходи-

мой для эффективного функционирования нано- и субмикрометровой структурой, а также высокими физико-механическими характеристиками.

### **Научная новизна**

Научная новизна диссертации состоит в том, что в ней получены следующие научные результаты:

1. Уточнена математическая модель кинетики нагрева ТВЧ титановых малогабаритных изделий, учитывающая влияние высокотемпературного процесса формирования морфологически гетерогенного оксидного покрытия и увеличение фактической площади поверхности теплообмена, что позволяет достоверно обосновать выбор рациональных технологических режимов обработки ТВЧ.

2. Разработаны и обоснованы технические решения компоновки системы «индуктор - изделие», отличающиеся возможностью ускоренного нагрева малогабаритных титановых изделий и проведения высокотемпературной электротермической обработки в воздушной атмосфере, что обеспечивает формирование нано- и субмикрористаллических оксидных покрытий.

3. На основе экспериментальных исследований получены феноменологические закономерности влияния режимов обработки ТВЧ титановых изделий на состав, параметры структуры и физико-механические свойства оксидированной поверхности, на основании которых установлены технологические режимы, обеспечивающие формирование покрытий с повышенной твердостью, модулем упругости, стойкостью к царапанию и износостойкостью.

4. Разработаны и научно обоснованы технологические способы формирования твердых и высокопористых покрытий разных систем.

Новизна практических решений подтверждена патентами РФ на изобретения, включающих способы формирования газотермических, оксидных и композиционных покрытий, а также конструкцию устройства для газотермического оксидирования имплантатов.

## **Практическая значимость результатов работы**

В диссертации практическая значимость работы состоит в совершенствовании существующих и создании новых, более эффективных технологий изготовления медицинских изделий с оксидными и композиционными покрытиями. Серии образцов и имплантатов с улучшенными функциональными качествами покрытий опробованы в условиях *in vitro* и *in vivo*, результаты которых показали высокую способность интеграционного взаимодействия поверхности с биоструктурами, что подтверждается протоколом клинических испытаний образцов имплантатов и актами внедрения в лечебный процесс УНТЦ «Ветеринарный госпиталь» Саратовского государственного аграрного университета им. Н. И. Вавилова результатов диссертационной работы.

## **Апробация работы**

По результатам диссертационного исследования опубликовано 63 работы, в том числе 22 статьи в журналах из перечня ВАК РФ, 24 статьи в зарубежных журналах и сборниках международных конференций, индексируемых в базах Scopus и Web of Science, 7 статей в прочих изданиях, 1 монография, 2 главы в рецензируемом зарубежном коллективном справочном руководстве, 6 патентов РФ на изобретение.

## **Замечания по диссертационной работе**

1. В главе 1 (стр. 9) для повышения четкости и ясности решения актуальной научно-технической проблемы следовало бы привести конкретные физико-механические характеристики малогабаритных изделий, которые будут получены в диссертационной работе.

2. На стр. 12 и 13 в п. 3 научной новизны рассматриваются физико-механические характеристики с повышенной твердостью, модулем упругости, стойкостью к царапанию и износостойкостью. Однако другие физико-механические характеристики не приводятся.

3. В главе 2 на стр. 100 (рис. 2.17) указаны величины больших токов от 3130 до 8500 А в индукторах при малых мощностях от 285 до 1280 Вт. В выводах работы они тоже приведены. Из работы не ясно, чем вызваны величины таких больших токов.

4. На рис. 2.17 показаны режимы нагрева титановых образцов-дисков с повышенными скоростями нагрева (кривые 3 и 4), которые могут привести к высоким термонапряжениям, превышающим допустимые, и к появлению дефектов. Для выбора таких скоростных режимов индукционного нагрева следовало бы провести расчеты термонапряженного состояния образцов. Такое же замечание относится и к режимам нагрева (рис. 2.31, стр. 117) чаши. Перепад температуры по чаше составил более 300 °С в момент времени 60 с.

5. В главе 3 в разделе 3.5 определялись свойства прочности покрытий при срезе и микротвердость и производился выбор технологических режимов, включая дистанцию напыления. Для более рационального выбора технологических режимов и более полной оценки качества покрытий необходимы дополнительные исследования по износостойкости и дополнительные методы определения физико-механических свойств.

6. В главе 4 в разделе 4.10 результаты определения характеристик прочности титановых образцов следовало бы дополнить характеристиками усталости.

7. В пункте 1 Выводов исследования титановых образцов проведены в диапазоне частот тока в индукторе от 50 до 150 кГц. Однако индукционный нагрев изделий на более высоких частотах тока (более 150 кГц) не рассмотрен.

8. В Выводах приведены повышенные физико-механические свойства титановых изделий и покрытий. Для более точной оценки изделий с покрытиями следовало бы провести расчеты скоростных режимов нагрева изделий с учетом ограничений на термонапряжения, расчетно-экспериментальную оценку остаточных напряжений и усталости изделий, которые также являются физико-механическими свойствами.


## Заключение

Указанные недостатки не снижают общего уровня диссертационной работы в целом. Диссертационную работу Фомина А.А. можно охарактеризовать как завершённую научную работу, которая изложена грамотно и доказательно, её научное содержание и стиль изложения соответствует современному международному уровню исследований по созданию научных основ разработки электротехнологического оборудования для нанесения покрытий и режимов их работы, а также по новым методам повышения физико-механических свойств обрабатываемых изделий. Содержание диссертации соответствует научным специальностям 05.09.10 и 05.16.01.

Содержание автореферата соответствует материалам диссертационной работы.

На основании вышеизложенного считаю, что диссертационная работа полностью соответствует требованиям п.9 «Положения о присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к докторским диссертациям, а её автор Фомин Александр Александрович заслуживает присвоения ученой степени доктора технических наук по специальностям 05.09.10 – Электротехнология и 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Доктор технических наук  
по специальности 05.09.10 –  
Электротехнология  
Старший научный сотрудник  
ФГУП “Центральный институт  
авиационного моторостроения  
им. П.И. Баранова”  
начальник сектора

  
18.10.2017

А.Р. Лепешкин

Подпись д.т.н. Лепешкина А.Р. заверяю

Ученый секретарь  
ФГУП “ЦИАМ им. П.И. Баранова”,  
Доктор технических наук





Е.В. Джамай

Лепешкин Александр Роальдович, д.т.н., с.н.с.  
111116, г. Москва, ул. Авиамоторная, д.2  
Начальник экспериментального сектора отделения прочности  
ФГУП “Центральный институт авиационного моторостроения  
им. П.И. Баранова”,  
Тел.: 499-7635747, Факс: 499-7636110, E-mail: avim@ciam.ru