

На правах рукописи



ЯНСАЙТОВА МИЛЯУША ИСМАГИЛОВНА

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ СВОЙСТВ
ВАКУУМНЫХ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ
ПРИ РЕГЛАМЕНТАЦИИ
В НОРМАТИВНОЙ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ**

05.02.23 – Стандартизация и управление качеством продукции

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Магнитогорск – 2020

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Научный руководитель доктор технических наук, доцент
Полякова Марина Андреевна

Официальные оппоненты: **Анцев Виталий Юрьевич**,
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Тюльский государственный
университет», кафедра «Подъемно-транспортные
машины и оборудование», заведующий кафедрой

Хаймович Александр Исаакович,
доктор технических наук, доцент,
ФГАОУ ВО «Самарский национальный
исследовательский университет
имени академика С.П. Королева»,
кафедра технологий производства двигателей,
заведующий кафедрой

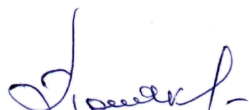
Ведущая организация - ФГБОУ ВО «Ярославский государственный
технический университет», г. Ярославль

Защита состоится « 22 » декабря 2020 г. в 15-00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.111.05 на базе ФГБОУ «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» по адресу: 455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38, малый актовый зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» и на сайте <http://www.magtu.ru>.

Автореферат разослан « _____ » _____ 2020 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Полякова Марина Андреевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы.

Одним из ключевых вопросов при разработке требований нормативной и технической документации является выбор нормируемых свойств объекта стандартизации. В настоящее время выбор свойств объекта стандартизации для нормирования основывается на сложившейся практике стандартизации при обязательном условии достижения консенсуса между разработчиками нормативного документа. Это прослеживается, например, при актуализации действующих стандартов, при внесении изменений в стандарты на те или иные численные значения свойств объекта стандартизации, в процессе гармонизации отечественных стандартов с требованиями зарубежных норм и т.д. Однако такой прием установления нормируемых показателей не позволяет учитывать особенности эксплуатационных свойств объекта стандартизации, что может явиться ограничением при разработке различных видов производственной документации.

Значительный интерес представляет нормирование свойств функциональных покрытий, которые широко применяются для придания поверхностям специальных свойств. Как правило, в действующих стандартах регламентируются только те свойства покрытий, которые в основном обусловлены только технологией нанесения, например, толщина, микротвердость, прочность сцепления и др. При этом не учитываются свойства, необходимые для функционирования изделия с покрытием в заданных условиях эксплуатации. На свойства покрытий оказывают влияние не только условия работы изделия (внешние факторы), особенности технологического процесса нанесения покрытия в условиях многозначности технологических режимов, но также наличие неконтролируемых и возмущающих факторов, неизбежно сопровождающих любой технологический процесс нанесения покрытия, свойства подложки (материала изделия) и др. В этой связи необходимо использовать принципиально новые подходы для выбора номенклатуры свойств покрытий для нормирования в нормативной и технической документации.

Особый интерес и практическую значимость приобретают вопросы нормирования свойств вакуумных ионно-плазменных покрытий. Применение вакуумных ионно-плазменных покрытий характеризуется большими технологическими возможностями по изменению физико-химических свойств поверхности за счет возможности формирования покрытий различного стехиометрического состава. Однако в практической деятельности существуют проблемы, связанные с отсутствием нормативной и технической документации на данный вид покрытия. Это в значительной степени ограничивает возможности контроля свойств данного вида покрытия. Кроме того, следует также учитывать, что каждое нормируемое свойство отображает взаимодействие производителя, который должен обеспечить получение покрытия на имеющемся оборудовании в соответствии с технологическим процессом, и потребителя, которому необходимо выполнение функций изделия с покрытием.

Таким образом, в настоящее время разработка научно-обоснованной методики для выбора свойств покрытий для регламентации в нормативной и технической документации с учетом особенностей существующих технологических процессов их нанесения и необходимости обеспечения соответствующих функциональных свойств изделия с покрытием является актуальной задачей исследования.

Степень разработанности темы исследования.

Общим вопросам стандартизации, вопросам практического применения принципов и методов стандартизации посвящены работы российских и зарубежных ученых: Г. Тагути, Ф. Тейлора, У. Деминга, Ф. Кросби, Ю.П. Адлера, В.В. Бойцова, Б.В. Бойцова, В.В. Бринзы, В.М. Постыки, В.Т. Жадана, И.М. Лифица, Р.А. Фатхутдинова, ученых научных школ Москвы, Санкт-Петербурга, Тулы, Курска, Воронежа, Брянска, Самары,

Томска, Уфы, Магнитогорска и других. Вопросами обеспечения качества покрытий занимались И.И. Аксенов, А.А. Андреев, С.Н. Григорьев, В.Ф. Горбань, В.А. Барвинок, В.Ф. Безъязычный, В.Ю. Замятин, В.И. Богданович, В.В. Будилов, Н.Н. Коваль и другие. Однако вопросам нормирования свойств покрытий с учетом существующих системных взаимодействий «изделие-покрытие», а также условий эксплуатации изделий с покрытиями не уделено должного внимания.

Целью работы является разработка методических основ для обоснования выбора свойств вакуумных ионно-плазменных покрытий при нормировании в нормативной и технической документации.

Задачи исследований:

1. Провести метрологическую экспертизу действующей технической документации для определения перечня свойств вакуумного ионно-плазменного покрытия, необходимых для нормирования с учетом условий эксплуатации изделия с покрытием.

2. Определить взаимосвязь между функциями и свойствами вакуумного ионно-плазменного покрытия с учетом особенностей существующих системных взаимодействий в системе «изделие – покрытие».

3. Разработать алгоритм выбора свойств вакуумных ионно-плазменных покрытий для регламентации в нормативной и технической документации при условии обеспечения необходимых эксплуатационных свойств изделия с покрытием.

4. Провести апробацию разработанной концепции оценки и выбора свойств вакуумных ионно-плазменных покрытий при разработке технологической инструкции на детали газотурбинного двигателя.

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

1. Установлена взаимосвязь эксплуатационных свойств вакуумного ионно-плазменного покрытия и функций изделия с покрытием, позволяющая разработать научно обоснованный подход к выбору свойств покрытия для регламентации в нормативной и технической документации.

2. Разработан алгоритм выбора свойств вакуумных ионно-плазменных покрытий при регламентации в нормативной и технической документации, отличающийся учетом взаимосвязи между функциями и свойствами элементов системы «изделие – покрытие».

3. Определены рациональные условия формирования вакуумного ионно-плазменного покрытия TiN, позволяющие определить те его свойства, которые должны быть нормированы в технической документации на изделие с покрытием.

Теоретическая и практическая значимость:

1. Определены структурно-функциональные связи при осуществлении технологического процесса нанесения вакуумного ионно-плазменного покрытия, что позволяет определить свойства покрытия, необходимые для регламентации в нормативной и технической документации.

2. Исследована взаимосвязь между расположением изделий в вакуумной камере и толщиной, микротвердостью и фазовым составом вакуумного ионно-плазменного покрытия TiN, что позволило установить образование твердого раствора азота в α -Ti с ГПУ решеткой (α -фаза) и моонитрида TiN с ГЦК решеткой (δ -фаза) и определить содержание фаз Ti и TiN в покрытии.

3. Разработана и внедрена технологическая инструкция «Вакуумное ионно-плазменное покрытие TiN на цапфу КВД. Требования к нанесению, контроль» в ПАО «ОДК - Уфимское моторостроительное производственное объединение».

Методология и методы исследования. Для решения поставленных задач исследования были использованы системный анализ, метод моделирования IDEF0, функционально-целевой анализ, QFD-анализ, факторный анализ, инструментальные методы из-

мерения микротвердости и толщины покрытия, рентгеноструктурный анализ фазового состава вакуумного ионно-плазменного покрытия.

Положения, выносимые на защиту:

1. Методика оценки и выбора свойств вакуумных ионно-плазменных покрытий для регламентации в нормативной и технической документации, основанная на установлении системных взаимодействий в системе «изделие - покрытие».

2. Алгоритм выбора свойств вакуумных ионно-плазменных покрытий, позволяющий учитывать взаимосвязи между функциями и свойствами элементов системы «изделие-покрытие», что является основой для нормирования свойств покрытий в нормативной и технической документации.

3. Структурно-функциональные связи между параметрами технологического процесса нанесения вакуумного ионно-плазменного покрытия и свойствами покрытия в системе «изделие - вакуумное ионно-плазменное покрытие».

Степень достоверности и апробация результатов исследования. Достоверность и обоснованность полученных научных результатов подтверждается корректностью исходных положений исследования, логикой диссертационной работы. Степень достоверности результатов подтверждается корректностью постановки цели и задач диссертационного исследования, глубиной проработки основных аспектов изучаемой проблемы, творческим использованием различных методов научного исследования и практической стандартизации, корреляцией разработанного подхода с практикой работ в области стандартизации.

Степень достоверности результатов исследования подтверждается апробацией результатов диссертационных исследований на конференциях различного уровня: VI Всероссийская научно-техническая конференция молодых специалистов (Уфа, 2015 г.), IX Всероссийская молодежная научная конференция «Мавлютовские чтения» (Уфа, 2015 г.), Российская научно-техническая конференция «Мавлютовские чтения» (Уфа, 2016 г.), X Всероссийская зимняя школа-семинар аспирантов и молодых ученых (с международным участием) «Актуальные проблемы науки и техники» (Уфа, 2017 г.), XVI, XVII Международные научно-практические конференции «Управление качеством» (Москва, 2017, 2018 гг.), XLIII, XLIV Международные молодежные научные конференции «Гагаринские чтения – 2017», «Гагаринские чтения – 2018» (Москва, 2017, 2018 гг.), 3-я и 4-я Международные конференции молодых ученых Magnitogorsk Rolling Practice (Магнитогорск, 2018, 2019 гг.); International Conference “Functional Materials: Predicting properties and manufacturing Technologies” (ICFM-2019) (Пермь, 2019 г.), 77-ая Международная научно-техническая конференция «Актуальные проблемы современной науки, техники и образования» (Магнитогорск, 2019 г.); Юбилейная международная научно-практическая конференция, посвященная 60-летию Рудненского индустриального института «Современные инновации в области науки, технологий и интеграции знаний» (Рудный, Республика Казахстан, 2019 г.).

Внедрение результатов диссертационных исследований. Результаты работы внедрены в ПАО «ОДК - Уфимское моторостроительное производственное объединение», а также используются в учебном процессе ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» для обучения по направлению 15.03.05 – Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств.

Область исследования соответствует паспорту специальности 05.02.23 – Стандартизация и управление качеством продукции, а именно п. 2. «Стандартизация, метрологическое обеспечение, управление качеством и сертификация», п. 3 «Методы стандартизации и менеджмента (контроль, управление, обеспечение, повыше-

ние, планирование) качества объектов и услуг на различных стадиях жизненного цикла продукции».

Объект исследования: свойства вакуумных ионно-плазменных покрытий.

Предмет исследования: нормирование свойств покрытий в нормативной и технической документации.

Личный вклад автора заключается в выборе и обосновании актуальности темы исследования, постановке цели и задач диссертационного исследования, проведении анализа действующих стандартов в предметной области исследования, установлении системных взаимодействий в системе «изделие-покрытие», проведении полного факторного эксперимента типа 3к с двухуровневой вариацией факторов, проведении экспериментальных исследований, проведении метрологической экспертизы технической документации в ПАО «ОДК - Уфимское моторостроительное производственное объединение», разработке технологической инструкции, подготовке статей по теме диссертационной работы.

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 25 печатных работ, в том числе 8 статей в журналах, включенных в перечень ведущих российских рецензируемых научных журналов и изданий ВАК РФ, 1 статья проиндексирована в наукометрической базе Scopus, получен 1 патент Российской Федерации на изобретение.

Структура и объем работы. Диссертационная работа изложена на 126 страницах машинописного текста, состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы, включающего 171 источник, содержит 41 рисунок, 14 таблиц и 4 приложения на 24 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении охарактеризована актуальность выбранной темы исследования, обоснованы цель и задачи исследований, определены объект и предмет исследования, сформулированы научная новизна и практическая значимость диссертационной работы.

В первой главе проведен анализ действующих нормативных документов в предметной области покрытий различного назначения. Установлено, что в стандартах регламентируются только те свойства покрытий, которые обусловлены только технологией их нанесения: внешний вид, толщина покрытий, прочность сцепления и др. При этом функциональные свойства покрытия не учитываются. Это в значительной степени ограничивает возможности конструктора в производственных условиях назначать вид покрытия, состав, его физико-химические свойства, исходя из условий эксплуатации изделия с покрытием.

Во второй главе приведены результаты метрологической экспертизы действующей в настоящее время в ПАО «ОДК - Уфимское моторостроительное производственное объединение» конструкторской документации. Установлено, что технические требования к параметрам покрытия сводятся только к указанию его толщины и шероховатости. Иными словами, при регламентации свойств вакуумного ионно-плазменного покрытия в конструкторской документации учитывается имеющийся опыт согласно сложившейся производственной практике. При этом не рассматриваются существующие функциональные взаимодействия в системе «изделие - вакуумное ионно-плазменное покрытие», а также особенности формирования свойств покрытия при реализации технологического процесса его нанесения.

Для выявления взаимосвязи проведения процедуры метрологической экспертизы с основными и вспомогательными операциями технологического процесса нанесения покрытия в рамках диссертационного исследования использован метод структурно-функционального моделирования IDEF0 (рисунок 1).

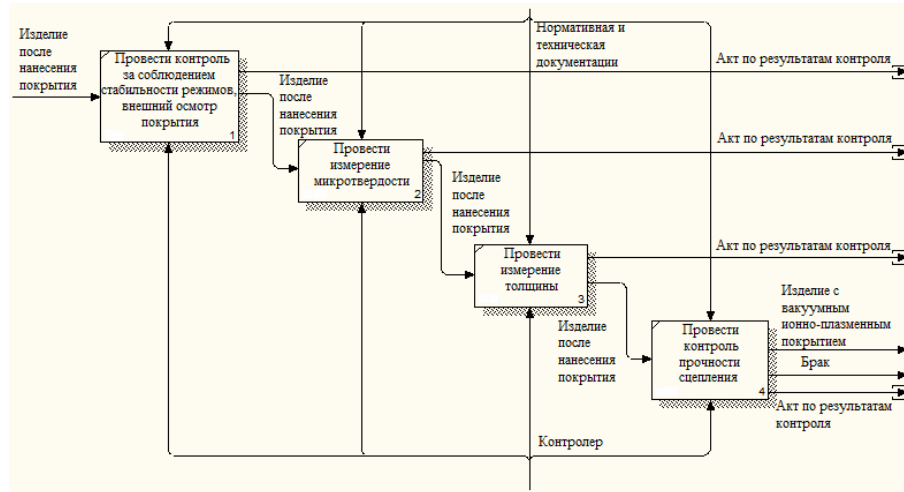


Рисунок 1 – Дочерняя диаграмма технологического процесса нанесения вакуумного ионно-плазменного покрытия

Поскольку процесс вакуумного ионно-плазменного напыления является сложной технологической системой, поэтому установление системных связей целесообразно проводить по следующей последовательности: определение структурно-функциональных связей технологического процесса, определение этапов формирования покрытия; проведение функционально-целевого анализа элемента «вакуумное ионно-плазменное покрытие»; проведение функционально-целевого анализа всей системы «изделие - вакуумное ионно-плазменное покрытие» (рисунок 2).



Рисунок 2 – Обобщенная схема установления системных связей в системе «изделие - вакуумное ионно-плазменное покрытие»

В третьей главе рассмотрены этапы обобщенной схемы установления системных связей в системе «изделие - вакуумное ионно-плазменное покрытие». В качестве деталей выбраны сборочные единицы газотурбинного двигателя «Цапфа компрессора высокого давления», на которые наносится покрытие TiN вакуумным ионно-плазменным методом.

Анализ процесса формирования вакуумного ионно-плазменного покрытия как совокупности последовательно протекающих стадий показал, что такие свойства покрытий как толщина, адгезия, микротвердость, шероховатость, пористость определяются особенностями технологического процесса нанесения и этапами формирования покрытия (рисунок 3 и рисунок 4).

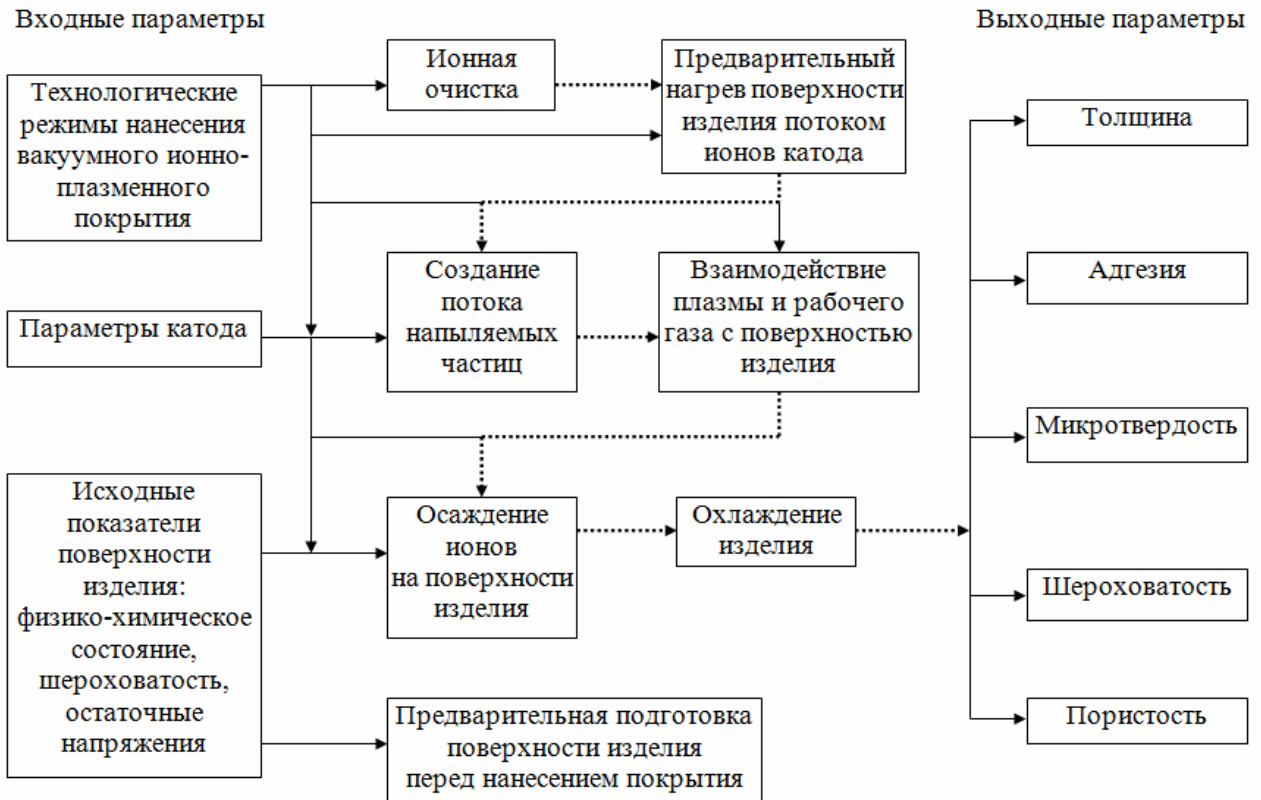


Рисунок 3 – Структурная схема системы «технологический процесс нанесения вакуумного ионно-плазменного покрытия»

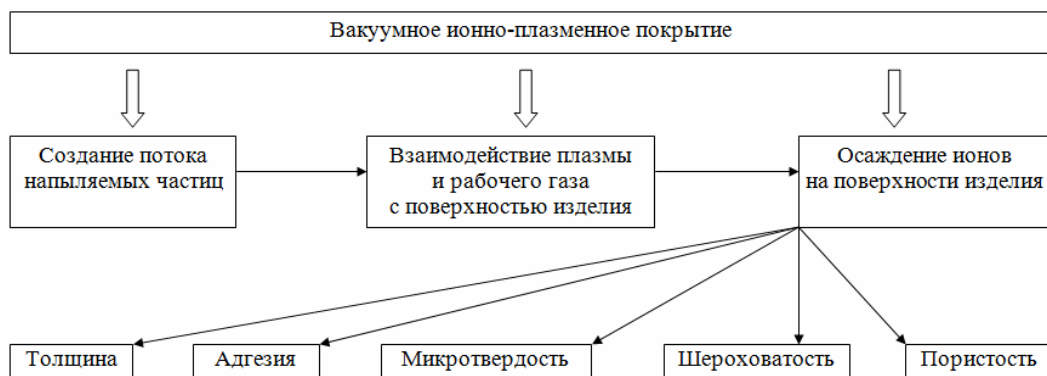


Рисунок 4 – Взаимосвязь этапов формирования вакуумного ионно-плазменного покрытия системы «вакуумное ионно-плазменное покрытие» с его свойствами, определяемыми технологическим процессом

С другой стороны, исходя из анализа характера внешнего воздействия на детали газотурбинного двигателя (ГТД), покрытие должно обладать следующим комплексом свойств: высокой эрозионной стойкостью, высокой твердостью, трещиностойкостью, материал покрытия должен быть жаростойким и теплопроводным, зона с покрытием не должна снижать статическую прочность и выносливость детали. Поверхностный слой должен обеспечивать защиту детали от высокотемпературной коррозии, покрытие должно быть непроницаемым для активных элементов, находящихся во внешней среде и быть химически нейтральным к материалу детали ГТД. Для работы в таких условиях необходимо, чтобы в ходе технологического процесса было обеспечено получение соответствующих свойств самого покрытия с учетом его материала и материала изделия, соблюдение необходимых геометрических размеров детали с покрытием, как сборочной единицы узла. Кроме того, поскольку деталь с покрытием является составной частью ГТД, т.е. сборочной единицей, поэтому в ходе технологического процесса нанесения покрытия должна быть обеспечена равномерность толщины по всей площади при минимальной массе изделия с покрытием.

Для определения тех свойств вакуумного ионно-плазменного покрытия, которые обеспечивают выполнение функций детали с данным видом покрытия для работы в заданных условиях эксплуатации как сборочной единицы ГТД, в рамках диссертационного исследования использован функционально-целевой анализ. Учитывая характер условий эксплуатации деталей ГТД, требования к свойствам покрытия можно представить в виде системы существующих взаимосвязей между контролируемыми параметрами изделия с вакуумным ионно-плазменным покрытием и свойствами самого покрытия (рисунок 5).

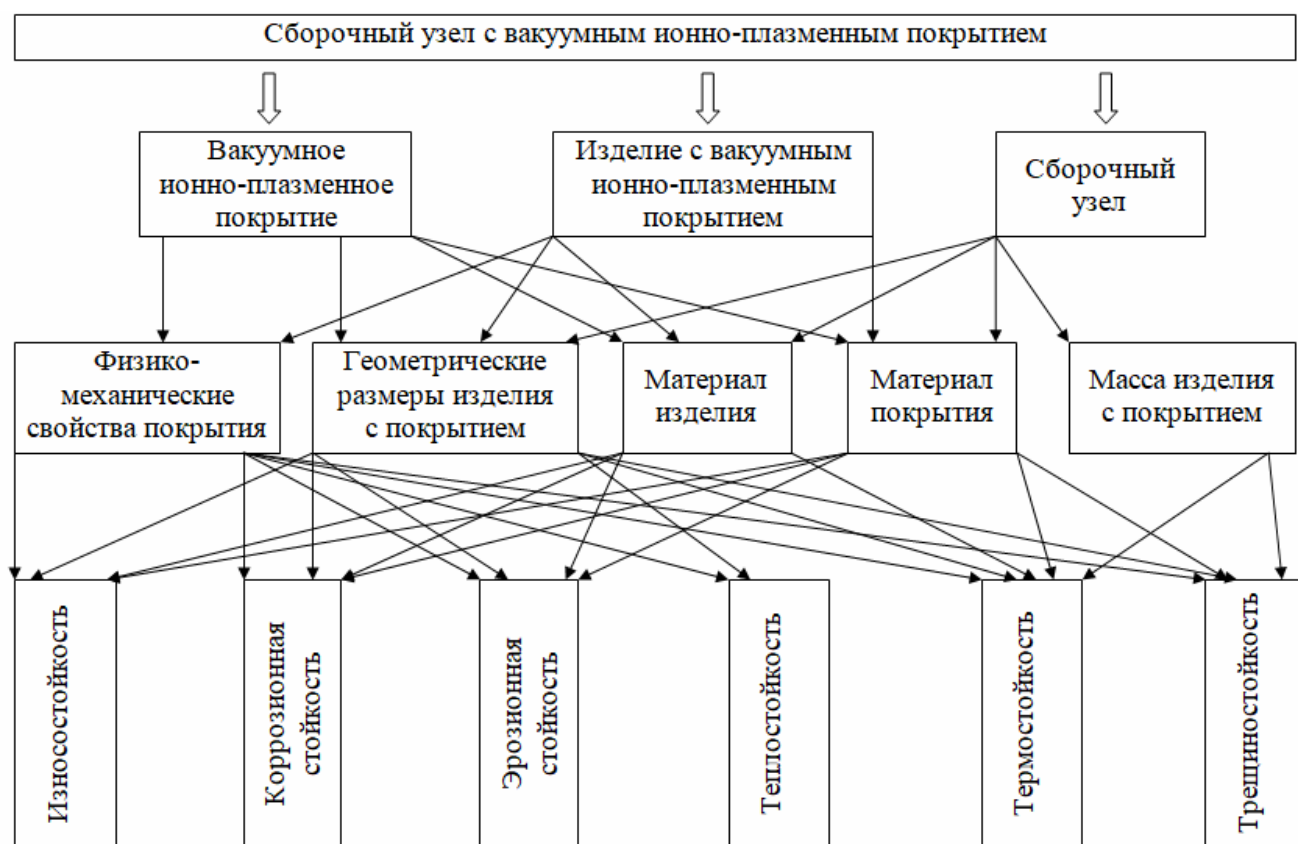


Рисунок 5 – Схема взаимосвязи контролируемых параметров и свойств покрытия в системе «изделие - вакуумное ионно-плазменное покрытие»

Обеспечение эксплуатационных свойств любого изделия с покрытием непосредственным образом связано с необходимостью выбора свойств покрытия, которые должны быть регламентированы в нормативной, технической и конструкторской документации. При этом следует учитывать связи, существующие между всеми элементами системы, а также технологические особенности процесса нанесения покрытия, физическую сущность процессов, обеспечивающих формирование покрытия, технические характеристики используемого оборудования. На рисунке 6 представлена обобщенная схема взаимосвязи функциональных свойств вакуумного ионно-плазменного покрытия и свойств, определяемых технологическим процессом, с учетом системных взаимодействий.

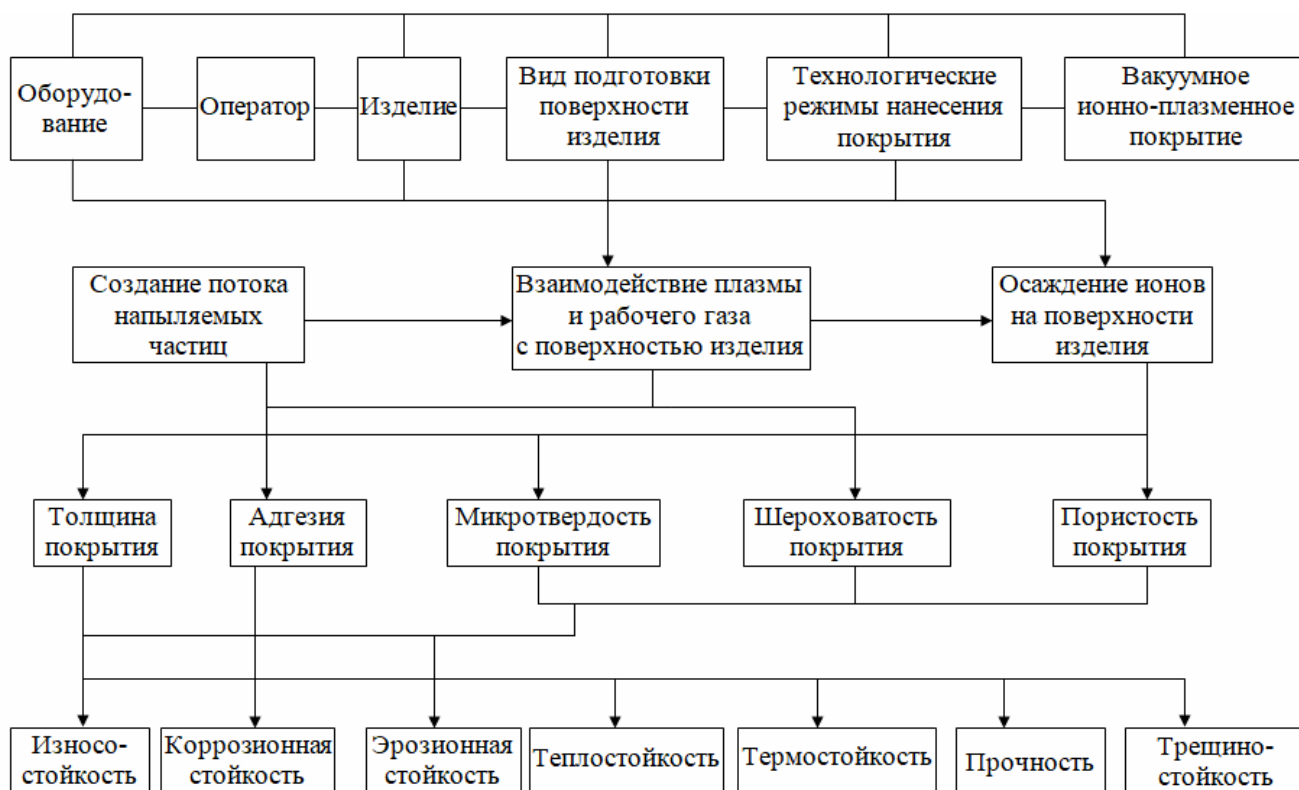


Рисунок 6 – Схема взаимосвязи эксплуатационных свойств с процессами формирования вакуумного ионно-плазменного покрытия

Для оценки значимости свойств покрытия, которые следует регламентировать в нормативной и технической документации, в рамках диссертационного исследования был проведен QFD-анализ на основании оценок экспертов (общее количество экспертов 8 чел.). В результате проведения QFD-анализа определены технические требования для реализации технологического процесса нанесения вакуумного ионно-плазменного покрытия и требования к функциональным свойствам вакуумного ионно-плазменного покрытия.

На рисунке 7 представлен алгоритм выбора свойств вакуумного ионно-плазменного покрытия для регламентации в нормативной, технической и/или конструкторской документации, который представляет ряд последовательно выполняемых действий по установлению системных связей в системе «изделие - покрытие». Основным критерием выбора являются требования получения таких свойств покрытия, которые будут обеспечивать выполнение функций изделия с покрытием в заданных условиях эксплуатации. Указанные требования составляются, исходя из назначения детали с вакуумным ионно-плазменным покрытием.



Рисунок 7 – Алгоритм выбора свойств вакуумного ионно-плазменного покрытия для регламентации в нормативной, технической и/или конструкторской документации

Таким образом, реализация разработанного алгоритма обеспечивает научно обоснованный подход к выбору перечня свойств покрытия, которые следует регламентировать в нормативной и технической документации. Это позволяет не только учесть свойства, которые формируются в ходе технологического процесса его нанесения, но также те свойства, которые необходимы изделию с покрытием в определенных условиях эксплуатации.

В четвертой главе приведены результаты полного факторного эксперимента типа 3^k с двухуровневой вариацией факторов. В качестве входных параметров технологического процесса вакуумного ионно-плазменного нанесения покрытия TiN выбраны расстояния от катода и оси потока, в качестве откликов – толщина и микротвердость покрытия.

После проведения соответствующих расчетов получены зависимости целевых функций от целевых параметров

- для отклика (толщина): $y_2 = 10,556 - 7,5x_1 - 6,5x_2 + 9,25x_1x_2$. (1)

- для отклика (микротвердость): $y_1 = 23 - 1,167x_1 - 9,167x_2 + 7x_1x_2$; (2)

Результаты экспериментальной проверки полученных уравнений факторного анализа представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Толщина покрытия TiN от расстояния катода при изменении расстояния от оси потока

Расстояние от катода, мм	Расстояние от оси потока, мм		
	0	100	200
210	36	21	0
310	8	14	4
400	2	7	3

Таблица 2 – Микротвердость покрытия TiN от расстояния катода при изменении расстояния от оси потока

Расстояние от катода, мм	Расстояние от оси потока, мм		
	0	100	200
210	39	28	4
310	30	25	17
400	25	21	18

Результаты обработки данных рентгеноструктурного анализа показывают, при всех выбранных для исследования значений расположения деталей в вакуумной камере в покрытиях присутствуют фазы TiN и Ti с образованием твердого раствора азота в α -Ti с ГПУ решеткой (α -фаза) и моонитрида TiN с ГЦК решеткой (δ -фаза). В результате проведенных экспериментов установлены следующие закономерности. На оси потока содержание TiN от расстояния катода незначительно уменьшается (от 100 до 99,4 %). На расстоянии 100 мм от оси потока содержание TiN от расстояния катода убывает (от 96,33 до 95,7 %). При расстоянии 200 мм от оси потока содержание TiN от расстояния катода также уменьшается (от 100 до 98 %). Таким образом, содержание TiN составляет 95,7-100%. Содержание TiN уменьшается при увеличении расстояния от катода, причем на оси потока TiN содержится больше. На оси потока зависимость содержания Ti от расстояния катода незначительно увеличивается (от 0 до 0,6 %). На расстоянии 100 мм от оси потока содержание Ti от расстояния катода возрастает (от 3,67 до 4,3 %). На расстоянии 200 мм от оси потока содержание Ti от расстояния катода также увеличивается

(от 0 до 2 %). Таким образом, содержание Ti составляет до 4,3%. Содержание Ti увеличивается при увеличении расстояния от катода. Экспериментальные исследования показали, что содержание TiN от расположения деталей в вакуумной камере составляет от 95,7 до 100 %, а содержания Ti от 0 до 4,3 %, причем на оси потока содержание TiN составляет 100 %.

Таким образом, результаты проведенных исследований явились основанием для выбора следующих свойств вакуумного ионно-плазменного покрытия TiN, которые следует регламентировать в нормативной и технической документации: толщина покрытия; микротвердость покрытия; материал покрытия; технологические режимы обработки; адгезия покрытия; материал изделия.

В рамках диссертационной работы впервые разработана технологическая инструкция «Вакуумное ионно-плазменное покрытие TiN на цапфу КВД. Требования к нанесению, контроль», которая содержит следующие разделы: область применения, нормативные ссылки, обозначения и сокращения, требования к нанесению покрытия, контроль качества поверхности детали перед нанесением покрытия, оборудование и оснастка, подготовка образцов-свидетелей и деталей для нанесения покрытия, контроль качества покрытия, исправление дефектов, требования по технике безопасности. Данная технологическая инструкция действует в ПАО «ОДК - Уфимское моторостроительное производственное объединение», что подтверждено актом внедрения.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. В результате проведения метрологической экспертизы действующей конструкторской документации на детали газотурбинного двигателя установлено, что нормирование свойств покрытий основывается на имеющемся опыте и сложившейся производственной практике. В данной документации не нормируются те параметры покрытия, численные значения которых обеспечивают функционирование изделия с покрытием в заданных условиях эксплуатации. При этом при регламентации параметров вакуумного ионно-плазменного покрытия TiN не учитываются функциональные взаимодействия, существующие в системе «изделие – покрытие». Это в значительной степени усложняет выбор показателей покрытия, необходимых для нормирования в различных видах нормативной и технической документации.

2. В результате проведения комплекса теоретических исследований определена система взаимосвязей между контролируемыми параметрами изделия с вакуумным ионно-плазменным покрытием и свойствами покрытия. Показано, что использование функционально-целевого анализа позволяет установить взаимосвязь между свойствами и функциями каждого отдельного элемента системы «изделие – покрытие» с учетом технологических особенностей нанесения покрытия и этапов его формирования. Построена структурная схема системы «технологический процесс нанесения вакуумного ионно-плазменного покрытия». Разработанный подход является эффективным инструментом для выбора свойств покрытия для регламентации в нормативной и технической документации, необходимых для выполнения функций изделия с покрытием в определенных условиях эксплуатации с учетом условий сборки сборочной единицы сложного агрегата.

3. Разработан алгоритм выбора свойств вакуумного ионно-плазменного покрытия для регламентации в нормативной, технической и конструкторской документации. Основу данного алгоритма составляют установленные системные связи между контролируемыми параметрами технологического процесса и свойствами покрытия, которые необходимы для выполнения функций изделия с покрытием в заданных условиях эксплуатации. Это позволяет осуществить научно обоснованный выбор свойств покрытия для регламентации в нормативной, технической и конструкторской документации.

4. Разработана технологическая инструкция ТИ 257.009-2017 «Вакуумное ионно-плазменное покрытие TiN на цапфу КВД. Требования к нанесению, контроль», которая действует в условиях ПАО «Уфимское моторостроительное производственное объединение». Данная инструкция разработана с учетом результатов проведенных теоретических и экспериментальных исследований. Результаты диссертационных исследований внедрены в учебный процесс ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» используются в учебном процессе ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» для обучения по направлению 15.03.05 – Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ ИЗЛОЖЕНО В СЛЕДУЮЩИХ ПУБЛИКАЦИЯХ

Публикации в журналах из Перечня ВАК РФ:

1. Будилов, В. В. Исследование зависимости микротвердости и фазового состава покрытия TiN от расположения деталей в вакуумной камере при осаждении из плазмы вакуумно-дугового разряда / В.В. Будилов, И.И. Ягафаров, М. И. Янсаитова // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2017. - № 1 (145). – С. 20-23.

2. Шехтман, С. Р. Анализ показателей качества технологического процесса нанесения покрытий, получаемых осаждением из вакуумно-дугового разряда / С.Р. Шехтман, Н.А. Сухова, М.И. Янсаитова // Качество. Инновации. Образование. – 2017. - № 1 (140). – С. 40-45.

3. Янсаитова, М. И. Факторный анализ зависимости микротвердости и толщины покрытия TiN от расположения деталей в вакуумной камере при осаждении из плазмы вакуумно-дугового разряда / М.И. Янсаитова, А.Ф. Сафина, С.В. Устюжанина, С.Р. Шехтман // Качество. Инновации. Образование. – 2017. - № 3 (142). – С. 38-44.

4. Янсаитова, М. И. Метрологическое обеспечение элементов технологического процесса покрытий, получаемых осаждением из вакуумно-дугового разряда / М.И. Янсаитова // Качество. Инновации. Образование. – 2017. - № 5 (144). – С. 27-30.

5. Янсаитова, М. И. Метрологическая экспертиза технической документации, используемой при технологическом процессе покрытий, получаемых осаждением из вакуумно-дугового разряда / М.И. Янсаитова, С.Р. Шехтман // Качество и жизнь. – 2017. - № 3(15). – С.63-66.

6. Янсаитова, М. И. Структурно-функциональная модель технологического процесса нанесения покрытий, получаемых осаждением из вакуумно-дугового разряда / М.И. Янсаитова // Качество и жизнь. – 2018. - № 1 (17). – С. 46-50.

7. Полякова, М. А. Методика определения свойств вакуумных ионно-плазменных покрытий на основе установления системных связей / М.А. Полякова, М.И. Янсаитова // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2019. – Т. 17. - № 4. – С. 44-51.

8. Криони, Н. К. Контроль формы и положения профиля рабочих лопаток моноколеса газовой турбины / Н.К. Криони, А.В. Новиков, А.Д. Мингажев, Е.А. Наумкин, Э.В. Сафин, М.И. Янсаитова, В.А. Гафарова // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. – 2015. - № 4. – С. 255-267.

Публикации в изданиях, входящих в наукометрические базы Web of Science и Scopus:

9. Polyakova, M. A. Application of System Analysis for Technological Processes Investigation / M. Polyakova, E. Shiriaeva, M. Iansaitova // Key Engineering Materials. – 2020. – Vol. 834. – P. 24-31.

Публикации в иных изданиях:

10. Янсаитова, М. И. Стандартизация и метрологическое обеспечение покрытий, получаемых осаждением из вакуумных дуг / М.И. Янсаитова, С.Р. Шехтман // НАУКА - ПРОИЗВОДСТВУ. Ежегодный научно-технический сборник. Под общей редакцией В.Л. Юрьева. – Уфа. – 2014. – С. 204-207.

11. Будилов, В. В. Анализ и прогнозирование эксплуатационных повреждений покрытий TiN при воздействии климатических факторов и коррозионно-активных сред / В.В. Будилов, К.Н. Рамазанов, И.И. Ягафаров, С.Х. Даутов, М.И. Янсаитова // Новости материаловедения. Наука и техника. – 2015. – № 5 (17) – С. 2.

12. Будилов, В. В. Управление качеством высокоэффективных технологий на основе принципов стандартизации / В.В. Будилов, Н.А. Сухова, М.И. Янсаитова // Управление экономикой: методы, модели, технологии: материалы XV Международной научной конференции. – Уфа: Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – 2015. – Т. 1. - С. 26-29.

13. Янсаитова, М. И. Анализ качества технологического процесса нанесения покрытий, получаемых осаждением из вакуумно-дугового разряда / М.И. Янсаитова // Мавлютовские чтения: Материалы Всероссийской молодежной научной конференции. – Уфа: Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. - 2015. – Т. 1. -С. 652-654.

14. Янсаитова, М. И. Классификация параметров покрытий, получаемых осаждением из вакуумно-дугового разряда / М.И. Янсаитова // Мавлютовские чтения: Материалы Всероссийской молодежной научной конференции. – Уфа: Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. - 2015. - Т. 1. – С. 654-655.

15. Янсаитова, М. И. Стандартизация параметров покрытия TiN при осаждении из плазмы вакуумно-дугового разряда / М.И. Янсаитова, С.Р. Шехтман // Современное состояние и перспективы развития научной мысли. Сборник статей международной научно-практической конференции. – Уфа: - 2017. – С. 42-45.

16. Янсаитова, М. И. Разработка и обоснование параметров покрытия TiN при осаждении из плазмы вакуумно-дугового разряда, рекомендуемых к стандартизации / М.И. Янсаитова, С.Р. Шехтман // Избранные научные труды Шестнадцатой Международной научно-практической конференции «Управление качеством». – М.: МАИ. – 2017. – С. 404-408.

17. Шехтман, С. Р. Управление качеством технологического процесса нанесения вакуумных ионно-плазменных покрытий / С.Р. Шехтман, М.И. Янсаитова // Гагаринские чтения – 2017: XLIII Международная молодёжная научная конференция: сборник тезисов докладов. – М.: МАИ. – 2017. – С. 1246-1247.

18. Янсаитова, М. И. Анализ технологического процесса нанесения покрытий, получаемых осаждением из вакуумно-дугового разряда на основе построения структурно-функциональной модели / М.И. Янсаитова // Избранные научные труды Семнадцатой Международной научно-практической конференции «Управление качеством» – М.: МАИ. – 2018. – С. 437 – 442.

19. Янсаитова, М. И. Процедура согласования технических требований к покрытиям, получаемых осаждением из вакуумно-дугового разряда, и технических возможностей технологического процесса нанесения покрытий, получаемых осаждением из вакуумно-дугового разряда / М.И. Янсаитова // Гагаринские чтения – 2018: XLIV Международная молодёжная научная конференция: Сборник тезисов докладов - М.: МАИ. – 2018. – С. 114-116.

20. Янсаитова, М. И. Повышение качества покрытий, получаемых осаждением из вакуумно-дугового разряда, на основе разработки показателей, рекомендованных к стандартизации / М.И. Янсаитова, С.Р. Шехтман, М.А. Полякова // Magnitogorsk Rolling Practice 2018: материалы III молодежной научно-практической конференции / под ред.

А.Г. Корчунова. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова. – 2018. – С. 101-103.

21. Polyakova M. A. Perspectives for development of multioperational technological processes of metal ware manufacturing based on system analysis / M.A. Polyakova, E.N. Shiriaeva, M.Ya. Iansaitova, E.Yu. Bosikova // International Conference “Functional Materials: Predicting properties and manufacturing Technologies” (ICFM-2019) (Perm, April 15-18, 2019). Ed. by V.Yu. Stolbov. / Perm: Publishing house of Perm national research polytechnic university. - 2019. – P. 43.

22. Янсаитова, М. И. Функционально-целевой анализ метода нанесения тонких покрытий осаждением из вакуумно-дугового разряда / М.И. Янсаитова, М.А. Полякова // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: тезисы докладов 77-й международной научно-технической конференции. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова. – 2019. -Т.1. – С. 162-163.

23. Янсаитова, М. И. Подход к оценке показателей качества металлоизделий на основе комплексного анализа технологического обеспечения / М.И. Янсаитова, М.А. Полякова, С.Р. Шехтман // Magnitogorsk Rolling Practice 2019: материалы IV молодежной научно-практической конференции / под ред. А.Г. Корчунова. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2019.– С. 123-124.

24. Полякова, М. А. Разработка подхода к выбору свойств покрытий для нормирования в нормативной и технической документации / М.А. Полякова, М.И. Янсаитова // Современные инновации в области науки, технологий и интеграции знаний. Сборник материалов юбилейной международной научно-практической конференции, посвященной 60-летию Рудненского индустриального института. – Рудный: Рудненский индустриальный институт, 2019. – С. 447-456.

Охранные документы:

25. Пат. 2570105 Российская Федерация, МПК G01B 5/20. Способ контроля формы и положения профиля рабочих лопаток моноколеса / А.Д. Мингажев, М.И. Янсаитова, Л.Н. Кубышко, Э.В. Сафин. Заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет». - №2014120582/28, заявл. 21.05.2014, опубл. 10.12.2015. – 10 с.