

Отзыв

официального оппонента, доктора технических наук, профессора Абраимова Николая Васильевича на диссертационную работу Селиванова Константина Сергеевича «Многослойные ионно-плазменные покрытия для повышения износостойкости и долговечности лопаток турбомашин из титановых сплавов», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.17 – Материаловедение (технические науки)

Актуальность

Диссертационная работа Селиванова К.С. выполнена на весьма актуальную тему, связанную с разработкой износостойких ионно-плазменных покрытий на основе тугоплавких металлов и их нитридов для повышения долговечности лопаток турбомашин из титановых сплавов. Применение традиционных методов упрочнения виброгалтовкой или дробеструйной обработкой нередко оказывается недостаточно эффективным для лопаток турбомашин. Одним из наиболее перспективных направлений поверхностного упрочнения является разработка вакуумных ионно-плазменных технологий, позволяющих создавать многослойные композиционные покрытия с заранее заданными трибологическими и физико-химическими свойствами. С разработкой таких покрытий связано существенное увеличение ресурса машин, а также уменьшение затрат на восстановление работоспособности при ремонте.

Разработка отечественных технологий нанесения износостойких покрытий на лопатки отечественных турбомашин позволит обеспечить существенное увеличение ресурса энергетического оборудования и повысить его экономическую эффективность. Поэтому работа Селиванова К.С., посвященная решению проблемы долговечности лопаток турбомашин из титановых сплавов путем применения многослойных ионно-плазменных покрытий является весьма актуальной.

Общая характеристика работы

Диссертация включает в себя введение, семь глав, заключение, изложена на 351 страницах, содержит 52 таблицы, 217 рисунков и 312 литературных источников.

На основании глубокого анализа литературных источников автор сформулировал цель работы, состоящую из научного обоснования и разработки износостойких ионно-плазменных покрытий на основе тугоплавких металлов четвертой и пятой групп и их нитридов для повышения долговечности лопаток газовых и паровых турбин из титановых сплавов, эксплуатирующихся в условиях газоабразивного изнашивания, каплеударной эрозии и фреттинга.

Автором на основании простроенных моделей и экспериментальных результатов ускоренных испытаний выполнено прогнозирование увеличения долговечности лопаток турбомашин с разработанными покрытиями в условиях газоабразивного износа и каплеударной эрозии. Результаты моделирования подтверждены экспериментальными данными и разработкой новых способов упрочнения лопаток турбомашин. На основании проведённых исследований микроструктуры и фазового состава многослойных нитридных покрытий автором установлена положительная роль нитридных фаз, а также стабилизация титана в β -области при совместном осаждении титана и ванадия в повышении прочности и износостойкости лопаток турбомашин.

Для рабочих лопаток компрессора изд.АЛ-31СТ автором рекомендовано десятислойное покрытие с чередующимися слоями ванадия, титана и их нитридов нанесенное с предварительной ионной имплантацией азота. Для рабочих лопаток паровых турбин из титановых сплавов автором рекомендовано четырёхслойное покрытие из чередующихся слоёв α – титана, легированного алюминием, цирконием, молибденом, ванадием и слоёв нитридов. По данным автора прогнозируемая долговечность лопаток с такими покрытиями достигает 70700 и 64100 часов, соответственно, что нашло подтверждение во внедрении разработок автора в производстве лопаток паровых турбин АО «Силовые машины».

Научная новизна

К научной новизне работы автора следует отнести, прежде всего, создание научной концепции формирования многослойных ионно-плазменных покрытий лопаток турбомашин, состоящей в целенаправленном воздействии на поверхность деталей нескольких ионно-плазменных потоков формирующих многослойные покрытия на основе тугоплавких металлов четвертой и пятой групп и их нитридов, установление механизмов протекания плазмохимических реакций, сопровождающихся образованием твёрдых растворов внедрения азота в кристаллическую решетку титана и ванадия, которые формируют кристаллические структуры с некогерентными межфазными границами, являющимися эффективными барьерами тормозящими пластическую деформацию.

Автором теоретически обоснован и экспериментально подтверждён критерий максимального рассеяния упругой энергии волны $\max(D)$ для оценки стойкости покрытий к каплеударной эрозии.

Научная новизна подтверждена 20 патентами РФ.

Практическая значимость

Автором разработаны и внедрены в промышленное производство опытные технологии нанесения многослойных ионно-плазменных покрытий с заданными трибологическими свойствами на предприятиях ПАО «Газпром»,

а также в серийном производстве на предприятиях АО «ОДК» и АО «Силовые машины», что подтверждается актами о внедрении.

Достоверность полученных результатов

Обоснованность и достоверность основных положений и результатов диссертационной работы подтверждены применением комплекса современных методов теоретических и экспериментальных исследований состава, структуры и свойств покрытий, выполненных с использованием государственных стандартов, сертифицированного и аттестованного современного оборудования.

Замечания.

1. Не ясно, насколько адекватно расчетные значения напряженно-деформированного состояния соответствуют условиям эксплуатации лопаток в составе двигателей?
2. В работе недостаточно рассмотрены механизмы разрушения покрытий в реальных условиях эксплуатации при комплексном воздействии высоких температур, коррозионных сред и циклических нагрузок.
3. В работе отсутствует оценка экономической эффективности предложенных автором способов упрочнения лопаток турбокомпрессора.
4. В автореферате (стр. 15) автор утверждает, что им «Проведено теоретическое исследование напряженного состояния материала поверхности...». Не ясно, как это возможно? По определению поверхность - это геометрическое место точек, и она не имеет материального воплощения.
5. На рис. 18 автореферата не приведены размерности интенсивности и углов 2θ .
6. Не ясно, какова точность прогнозов нейросетевых моделей износа и эрозии рассматриваемых покрытий при изменении условий эксплуатации?
7. Конденсированные покрытия обычно содержат поры. Какова пористость разработанных автором покрытий?

Сделанные замечания не снижают общей высокой оценки диссертационной работы и не умаляют её научной и практической значимости. Диссертационная работа написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, что свидетельствует о личном вкладе автора в науку. Предложенные Селивановым К.С. решения достаточно аргументированы и оценены по сравнению с другими известными решениями по проблеме разработки и применения износостойких покрытий.

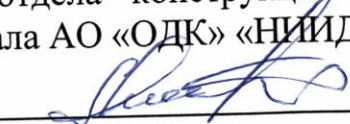
Заключение

В целом диссертационная работа выполнена на достаточно высоком научно-техническом уровне и представляет собой законченную квалификационную работу, в которой изложены новые, научно обоснованные технические и технологические решения в области разработки ионно-плазменных износостойких покрытий системы титан-ванадий-азот. Результаты диссертационной работы прошли апробацию на всероссийских и международных научно-технических конференциях, опубликованы в 11 статьях в журналах, входящих в перечень ВАК, а также в 8 статьях в журналах, входящих в международную систему цитирования Web of Science и Scopus., им опубликовано две монографии.

Содержание автореферата достаточно полно отражает основные положения диссертации.

По научному уровню, полученным результатам, содержанию и оформлению представленная работа удовлетворяет требованиям п.п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденным Постановлением правительства РФ от 24.09.2013 г. №842, а её автор Селиванов Константин Сергеевич, заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 2.6.17 –Материаловедение (технические науки).

Начальник отдела конструкционных материалов и функциональных покрытий филиала АО «ОДК» «НИИД», доктор технических наук, профессор

22.12.2025г.,  Абраимов Николай Васильевич

Подпись доктора технических наук, профессора Абраимова Н.В.

УДОСТОВЕРЯЮ

Начальник бюро управления персоналом филиала АО «ОДК» «НИИД»

 Докторова Татьяна Владимировна

105118, Москва, пр. Будённого, д. 16, корп. 182

Филиал Акционерного общества «Объединённая двигателестроительная корпорация» «Научно-исследовательский институт технологии и организации производства двигателей»

n.abraimov@uecrus.com

т. 8(499)785-81-19, доб. 50-72

