



ОДК

КЛИМОВ



 АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
 «ОДК-КЛИМОВ»

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Селиванова Константина Сергеевича, выполненной на тему «МНОГОСЛОЙНЫЕ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЛОПАТОК ТУРБОМАШИН ИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.17 – Материаловедение (технические науки)

Тема диссертационного исследования Селиванова К.С. обусловлена постоянно растущей необходимостью повышения эксплуатационной надежности и ресурса рабочих лопаток газотурбинных установок и паровых турбин, являющихся массовыми и ответственными деталями этих изделий. Современные требования к энергомашиностроению определяют потребность разработки новых износостойких материалов и функциональных покрытий, что отражено в Энергетической стратегии Российской Федерации и Государственной программе «Научно-технологическое развитие Российской Федерации», утвержденной Указом Президента РФ от 28.02.2024 г. № 145. В силу сказанного, актуальность темы диссертационного исследования не вызывает сомнений и убедительно обоснована соискателем.

Известной проблемой эксплуатации лопаток из титановых сплавов является их невысокая износостойкость и повышенная чувствительность к усталостному разрушению. Для решения этой проблемы в работе предложен научно - обоснованный выбор состава материалов и конструкции многослойных ионно-плазменных покрытий, специально разработанных под заданные условия эксплуатации. Практическая реализация предложенного в диссертации подхода позволит не только увеличить ресурс рабочих лопаток, но и повысить эффективность и надежность турбинных установок.

Научная новизна работы сформулирована достаточно четко и подтверждается результатами теоретических и экспериментальных исследований. К наиболее существенным новым научным результатам, выносимым на защиту, относятся:

- научное обоснование механизмов повышения износостойкости многослойных покрытий на основе тугоплавких металлов IV-V группы

периодической системы элементов за счет управления развитием трещин на границах нитридных и титановых слоев;

- закономерности повышения износостойкости многослойных покрытий от состава их материалов и параметров конструкции (количество и толщина слоев);

- установленные закономерности формирования двухфазной структуры многослойных ионно-плазменных покрытий $(V, Ti) + (V, Ti)N$ на основе твердых растворов нитридов титана и ванадия с некогерентными границами и обоснование ее применения для повышения прочности и износостойкости покрытия;

- теоретическое обоснование и экспериментальное подтверждение коэффициента изоляции D , позволяющего прогнозировать стойкость разрабатываемых покрытий к каплеударной эрозии;

- исследование и обоснование роли тонких слоев α -Ti в качестве источника оксидов титана, снижающих интенсивность изнашивания многослойных покрытий Ti+TiN при фреттинг-коррозии до 8,1 раза;

- методология прогнозирования эксплуатационной долговечности лопаток с нанесенными износостойкими покрытиями, основанная на результатах ускоренных испытаний на газоабразивное изнашивание и каплеударную эрозию.

Практическая значимость работы не вызывает сомнений и является убедительной. К основным практическим результатам работы относятся:

- разработанные новые составы износостойких покрытий, способы и оборудование для их нанесения, подтвержденные 20-тью патентами на изобретения.

- разработанные и внедренные в реальное производство технологии, технологические инструкции и технические условия на ведущих отечественных предприятиях ПАО «Газпром», АО «ОДК-Климов», АО «ОДК-УМПО», АО «Силовые машины».

- подтвержденное опытно-промышленной эксплуатацией (более 35 900 часов для паровых турбин и 3 600 часов для газотурбинного двигателя в составе газоперекачивающего агрегата) обеспечение износостойкости и увеличение долговечности лопаток с нанесенными покрытиями.

Достоверность результатов обоснована проведением математического планирования экспериментов, достаточным количеством опытов и применением теории ошибок для оценки достоверности полученных данных, а также статистической обработкой результатов. Работа выполнена с применением современных методик исследования и аттестованного оборудования. Достоверность результатов также подтверждается согласованностью

теоретических выводов, экспериментальных данных и результатов промышленной апробации.

По теме диссертационной работы опубликовано 11 статей в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК, 8 статей – в рецензируемых журналах, включенных в базы данных Scopus и Web of Science, 3 – в других изданиях; 2 монографии и 1 учебное пособие.

В качестве замечаний можно отметить, следующее:

1. Из текста автореферата не вполне ясно, проводилась ли оценка долгосрочных эффектов эксплуатации лопаток с покрытиями, например, циклическое старение или влияние агрессивных сред, а также не вполне ясно, как разрешилась научная многолемма «угол атаки эрозионных частиц – монослойность/многослойность–толщина покрытий – поверхностные/объемные остаточные напряжения – предел выносливости» с точки зрения выработки единых изначальных условий и подходов при проектировании ДСЕ с покрытиями, а также для оценки ремонтпригодности ДСЕ с покрытиями после эксплуатационной наработки.

2. В автореферате представлены интересные данные по результатам многоцикловых испытаний на рабочих лопатках 1 и 2 ступени компрессора низкого давления газотурбинного двигателя АЛ-31СТ из титанового сплава ВТ6 на усталость, однако не уточняется степень эрозинного воздействия на них в эксплуатации. Не ясно, насколько применимы полученные закономерности к лопаткам из других титановых сплавов для других типов двигателей и производителей?

3. В автореферате кратко упоминается о применении искусственных нейронных сетей для прогнозирования свойств разрабатываемых покрытий и было бы крайне интересно увидеть более подробное описание архитектуры этих моделей, процедуры обучения и верификации.

4. Перспективным направлением дальнейших исследований можно рекомендовать изучение термической стабильности и термической усталости разработанных многослойных систем при длительном воздействии и длительном циклическом воздействии рабочих температур (более 500 °С), характерных для горячих секций паровых турбин, характеризующихся повышенным изнашиванием в условиях коррозионно - активной среды и кавитационного воздействия.

Указанные замечания носят рекомендательный характер и не влияют на общую положительную оценку диссертации.

В целом автореферат позволяет сделать вывод о том, что диссертационная работа Селиванова К.С. на тему «Многослойные ионно-плазменные покрытия

для повышения износостойкости и долговечности лопаток турбомашин из титановых сплавов» является самостоятельным, завершенным научно-квалификационным исследованием, где на основании выполненных автором исследований изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие энергетического машиностроения страны.

Полученные результаты имеют важное научно-практическое значение для отрасли, а сама диссертация соответствует всем критериям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г., предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор Селиванов Константин Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.17 – Материаловедение (технические науки).

Начальник испытательной лаборатории
по исследованию деталей и узлов,
кандидат технических наук,
специальность 05.16.09- Материаловедение (машиностроение)



Тихомирова Елена Александровна

Дата: «22» декабря 2025 г.

Контактный телефон: (812) 640-69-73, доб.7882, +7 (911) 947-16-02
Адрес: 194100, С.-Петербург, Кантемировская ул., д.11, стр.1 (ул. акад. Харитона, д.8), Акционерное Общество «ОДК-Климов» (АО «ОДК-Климов»)).
Факс: +7(812) 647-00-29; электронный адрес: klimov@ klimov.ru

Подпись Тихомировой Е.А. подтверждаю

Врио начальника ОИ



Тихомиров