

ОТЗЫВ

на диссертацию Селиванова Константина Сергеевича,
представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по
специальности 2.6.17 – «Материаловедение», на тему «Многослойные ионно-
плазменные покрытия для повышения износостойкости и долговечности лопаток
турбомашин из титановых сплавов»

Современное машиностроение, особенно в таких стратегически важных отраслях, как энергетика и нефтегазовая промышленность, сталкивается с фундаментальной проблемой непрерывного повышения эффективности и ресурса турбомашин, что невозможно без увеличения эксплуатационных нагрузок. Очевидным решением этой проблемы является увеличение эксплуатационных нагрузок, что, в свою очередь, ускоряет процессы изнашивания, эрозии и усталостного разрушения деталей, в первую очередь – рабочих и направляющих лопаток, являющихся одними из наиболее ответственных и массовых деталей газотурбинных установок и паровых турбин.

Работоспособность рабочих лопаток при действии высоких центробежных и вибрационных нагрузок обеспечивается зачастую их изготовлением из титановых сплавов – материалов с высокой удельной прочностью и коррозионной стойкостью, но низкой поверхностной твердостью и износостойкостью, склонных к охрупчиванию и ускоренному усталостному разрушению. Замена титановых сплавов на другие лопаточные материалы, например, аустенитные или жаропрочные стали, часто неприемлема из-за увеличения массы лопаток, роста центробежных усилий, нагрузки на ротор и, как следствие, снижения эффективности работы всей установки.

В этой связи диссертационная работа Селиванова К.С., посвященная повышению долговечности лопаток турбомашин за счёт разработки и внедрения износостойких многослойных ионно-плазменных покрытий, является актуальной, востребованной и соответствующей современным требованиям отечественного энергомашиностроения.

В части новизны работы необходимо отметить установленные зависимости износостойкости покрытий от их конструкционных параметров (материал, количество слоёв, соотношение толщин металлических и нитридных слоёв), теоретическое обоснование критерия максимального рассеяния упругой волны для оценки стойкости к каплеударной эрозии, а также экспериментальное доказательство необходимости включения слоев α -Ti толщиной не менее 0,5 мкм в структуру многослойных покрытий (Ti+TiN) $\times$ n для повышения их стойкости к фреттинг-коррозии.

Автором обоснованно применена новая методология разработки многослойных ионно-плазменных покрытий, включающая численное моделирование напряженно-деформированного состояния покрытий при ударных и циклических нагрузках, экспериментальную оценку механических и адгезионных свойств, а также сравнительные испытания на стойкость к газоабразивному изнашиванию, каплеударной эрозии и фреттинг-коррозии для верификации теоретических расчетов.

В качестве сильной стороны теоретических исследований следует отметить использование метода конечных элементов (FEA) для моделирования напряженно-деформированного состояния материала многослойного покрытия в условиях газоабразивного изнашивания, а также применение искусственных нейронных сетей для прогнозирования износостойкости покрытий по полученным экспериментальным

данным, что соответствует передовым тенденциям в области цифрового материаловедения (Computational Materials Science).

Практическая значимость работы не вызывает сомнений и отражена в широком промышленном внедрении полученных соискателем результатов и технологических решений. На основе предложенной концепции комплексной вакуумной ионно-плазменной обработки (КВИПО) автором разработаны и внедрены в реальное производство новые технологические процессы упрочнения лопаток газовых и паровых турбин из титановых сплавов, обеспечивающие повышение износостойкости при газоабразивном изнашивании, каплеударной эрозии и фреттинг-коррозии от 2,8 до 12,3 раза, а также увеличение предела выносливости титанового сплава ВТ6 (σ_{-1}) до 26,2%. По результатам работы соискателем получено двадцать патентов на изобретения, включающие как способы упрочнения, так и конструкции устройств для вакуумного оборудования.

Достоверность результатов, полученных в работе, обеспечена использованием общепринятых и стандартных методик, современного аттестованного исследовательского оборудования, а также сопоставлением расчетных и экспериментальных данных, подтвержденных промышленными испытаниями.

Замечания и вопросы к работе:

1. В первой было бы целесообразно расширить сравнительный анализ современных отечественных и зарубежных способов нанесения многослойных защитных покрытий на лопатки газотурбинных и паровых турбин, с акцентом на их эффективность и масштабы внедрения.

2. Была ли учтена взаимосвязь между параметрами ускоренных лабораторных испытаний (скорость, размер частиц, состав абразива, температура и проч.) и реальными условиями эксплуатации лопаток в составе газотурбинных и паровых турбин?

3. Каким образом осуществлялась верификация разработанных нейросетевых моделей при прогнозировании износостойкости покрытий? Оценивалась ли обобщающая способность моделей, например, при экстраполяции за пределы обучающего набора данных?

Высказанные замечания носят уточняющий характер и не ставят под сомнение полученные соискателем результаты, выводы и положения, выносимые на защиту.

На основании вышесказанного считаю, что диссертация, представленная Селивановым К.С. на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 2.6.17 – «Материаловедение (технические науки)», представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, в которой на основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований разработаны новые научно обоснованные технические и технологические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны.

По своей актуальности, научно-практической значимости полученных результатов и выводов представленная работа полностью соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, установленным в п. 9- 11. 13 «Положением о присуждении ученых степеней».

утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г., а её автор Селиванов Константин Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.17 – «Материаловедение (технические науки)».

Профессор кафедры технологий производства двигателей федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», д.т.н. (2.5.15. Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов), доцент

 / Болотов Михаил Александрович

Дата: « 12 » января 2016 г.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», 443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, д. 34.
8 (846) 267-45-79, E-mail: bolotov@ssau.ru

