

ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Селиванова Константина Сергеевича «Многослойные ионно-плазменные покрытия для повышения износостойкости и долговечности лопаток турбомашин из титановых сплавов», представленный на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.17. «Материаловедение (технические науки)».

Основной проблемой эксплуатации лопаток турбин из титановых сплавов является их высокий износ при газоабразивном, эрозионном воздействии, фреттинге, которые приводят к ускоренному разрушению деталей.

В связи с этим, разработка новых материалов, покрытий и технологий их нанесения очень востребована при производстве особо ответственных и самых массовых деталей энергогенерирующего оборудования таких как, рабочие и направляющие лопатки газовых и паровых турбин.

Поэтому проблема упрочнения лопаток турбомашин из титановых сплавов в настоящее время является весьма актуальной.

В связи с этим для повышения долговечности лопаток газовых и паровых турбин из титановых сплавов, эксплуатирующихся в условиях газоабразивного изнашивания, каплеударной эрозии и фреттинга, в диссертационной работе поставлена цель научного обоснования и разработки износостойких ионно-плазменных покрытий на основе тугоплавких металлов IV-V групп и их нитридов.

В выполняемой работе теоретически показано и экспериментально подтверждено, что повышение долговечности лопаток энергогенерирующих и газотранспортных установок достигается созданием на их поверхности износостойких многослойных ионно-плазменных покрытий с заданной конструкцией (материал, толщина, количество слоев). Полученные результаты позволили разработать технологические процессы и промышленное оборудование, применяемые в области энергетического машиностроения для нанесения износостойких покрытий на лопатки газовых и паровых турбин.

К основным положениям научной новизны, можно отнести:

1. При нанесении в среде азота слоев титан-ванадиевого покрытия (V, Ti)N в результате протекания плазмохимических реакций образующиеся твердые растворы внедрения азота в кристаллическую решетку титана и ванадия, обуславливают формирование кристаллических структур с некогерентными межфазными границами, преимущественно

соответствующих нитридным фазам: δ -TiN (55,4 отн. %) и VN (20,2 отн. %), являющихся эффективными барьерами для протекания пластической деформации.

2. Толщина нитридных слоев должна не менее, чем в два раза превышать глубину действия максимальных напряжений, возникающих от удара твердыми или жидкими частицами. Покрытие должно состоять из чередующихся нитридных и металлических слоев при соотношении их толщин 4:1. что до 50 % уменьшает размер зоны пластической деформации, возникающей в металлических слоях перед трещиной, и обуславливает ее развитие вдоль границ слоев без перехода в материал подложки.

3. Повышение предела выносливости при многоциклового усталости двухфазного титанового сплава обеспечивается в результате предварительного проведения ионной имплантации азота (доза $2 \cdot 10^{17}$ ион/см²), увеличивающей его на 18,2 % (от 411 до 486 МПа, база испытания $2 \cdot 10^7$ циклов), что связано с дислокационным упрочнением материала поверхности ионами азота и формированием в ней остаточных напряжений сжатия от минус 720 до минус 850 МПа.

Очень высокая практическая значимость работы, которая заключается в следующем:

1. Для энергетического турбостроения для повышения износостойкости и циклической долговечности лопаток газовых и паровых турбин разработаны способы нанесения многослойных ионно-плазменных покрытий, позволяющие формировать на упрочняемых деталях слоистые композиции с заданным количеством, толщиной и материалом слоев. Так для нанесения на рабочие лопатки компрессора ГТД из титановых сплавов, работающих в условиях газоабразивного износа, рекомендуется десятислойное покрытие состоящее из чередующихся слоев Ti, V и их нитридов толщиной от 0,5 до 2,5 мкм. Это покрытие, общей толщиной $12 \pm 1,5$ мкм, нанесенное в сочетании с ионной имплантацией азота (доза $2 \cdot 10^{17}$ ион/см²), обеспечивает повышение стойкости к газоабразивному изнашиванию в 12,3 раза, увеличение предела выносливости на 11,6 % (от 344 до 384 МПа) и прогнозируемую величину эксплуатационной долговечности рабочей лопатки 1-й ступени КНД – в 2,3 раза (до 57,3 тыс. ч); рабочей лопатки 2-й ступени КВД АЛ-31СТ – в 2,8 раза (до 70,7 тыс. ч). Для нанесения на рабочие лопатки последних ступеней ЦНД паровых турбин из титановых сплавов, предлагается четырехслойное покрытие, состоящее из чередующихся тонких до 0,5 мкм слоев титана, легированного Al, Zr, V, Mo и его нитридов. Это покрытие, общей толщиной 20^{+5} мкм, нанесенное в

сочетании с ионной имплантацией азота (доза $2 \cdot 10^{17}$ ион/см²), обеспечивает повышение стойкости к капельноударной эрозии в 2,31 раза, к фреттинг-коррозии до 8,1 раза, увеличение предела выносливости титанового сплава ВТ6 на 4,9 % (от 405 до 425 МПа) и прогнозируемую величину эксплуатационной долговечности в 2,2 раза (до 64,1 тыс. ч) для рабочих лопаток 5-й ступени ЦНД паровых турбин типа К-225. Разработаны конструкции вакуумных установок и электродуговых испарителей, позволяющие путем совмещения в одном вакуумном объеме нескольких ионных источников реализовать различные способы нанесения ионно-плазменных покрытий на лопатки турбомашин.

2. Разработаны конструкции вакуумных установок и электродуговых испарителей, позволяющие путем совмещения в одном вакуумном объеме нескольких ионных источников реализовать различные способы нанесения ионно-плазменных покрытий на лопатки турбомашин.

3. Разработанные рекомендации и технологические процессы нанесения износостойких ионно-плазменных покрытий на рабочие и направляющие лопатки, внедрены на отечественных предприятиях ПАО «Газпром» и ООО «Научно-производственное предприятие «Уралавиаспецтехнология» (г. Уфа).

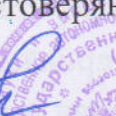
Разработки автора защищены многочисленными патентами на изобретения. Результаты работы достаточно широко освещены в отечественной и зарубежной печати. По теме диссертации опубликовано 45 научных работ, в том числе: 11 статей рекомендованных ВАК РФ, 8 статей входящих в наукометрические базы данных Scopus и Web of Science, 2 монографии, 1 учебное пособие. Получено 20 патентов РФ на изобретения.

Автореферат включает все положения диссертационного исследования и основные выводы.

В тоже время, по автореферату имеется ряд замечаний:

1. Из автореферата не понятны конкретные объекты исследований и используемые материалы;
2. Не обоснован выбор составов покрытий;
3. Не указаны режимы нанесения покрытий;
4. Не обосновано количество исследуемых наносимых слоев. На рисунке 12, страница 26 автореферата указано 5 слоев; на рисунке 17, стр. 30 – 4 слоя; на рис. 19, стр. 31 – до 40 слоев, а на стр. 34 рекомендуется 10-и слойное покрытие.

оверю



А.Ф.