

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ УГЛА АТАКИ И ФРАКЦИОННОЙ ЗЕРНИСТОСТИ ПЕСКА НА ЭРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ С ИОННО-ПЛАЗМЕННЫМИ ЗАЩИТНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ

Смыслов А.М.¹, Дыбленко Ю.М.², Прокопчук К.А.³

¹Смыслов Анатолий Михайлович – доктор технических наук, профессор;

²Дыбленко Юрий Михайлович – кандидат технических наук;

³Прокопчук Кирилл Алексеевич – магистрант,

кафедра технологии машиностроения,

Уфимский государственный авиационный технический университет,

г. Уфа

Аннотация: в статье рассмотрены результаты проведения испытаний по оценке эрозионной стойкости защитных покрытий, исследовано влияние угла атаки и фракционной зернистости песка на эрозионную стойкость поверхности титановых сплавов и предложен вариант защитного ионно-плазменного покрытия, повышающий эрозионную стойкость лопаток компрессора ГТД.

Ключевые слова: ионно-плазменные покрытия, лопатки компрессора ГТД, эрозия, титановые сплавы.

Проблема ресурса и эксплуатационной надёжности лопаток компрессора ГТД является одной из значимых задач современного двигателестроения. Лопатки компрессора в процессе длительной работы подвергаются воздействию абразивными частицами песка и влаги, что при действии знакопеременных усталостных нагрузок, обуславливает их преждевременное разрушение. Это, как следствие, предопределяет проведение работ по поиску эффективных технологий защиты поверхности.

Как показали исследования [1-3], наиболее эффективными методами защиты лопаток от пылеабразивной эрозии являются вакуумно-плазменные технологии. Вместе с тем, не поведены исследования по оценке сопротивления абразивному износу поверхности при различных углах атаки и различной фракционной зернистости песка.

Исследования проводились на экспериментальных образцах из сплава ВТЗ-1 с вакуумно-плазменным покрытием (TiV)N и толщиной от 6 до 28 мкм.

Микротвердость образцов замерялась на приборе микротвердомер ПМТ-3М, при нагрузке на образец в 50 г и ее длительности 10-15 секунд. В соответствии с ГОСТ 2999-75.

Толщина наносимого покрытия определялась методом сферического шлифа на установке Calotest компании CSM Instruments. Замеры проводились на микроскопе.

Варианты конструкций покрытий и их характеристики поверхности представлены в таблице 1.

Таблица 1. Физико-механические свойства вакуумных ионно-плазменных покрытий

№ образца	Материал основы	Структура покрытия	Толщина h, мкм	Микротвердость H _{v50} , Мпа	Количество слоев	Хим. состав Ti/V, %	Соотношение Me/MeN
1	2	3	4	5	6	7	8
7-3	ВТЗ-1	Мех. + Э.п.п.	–	356	–	–	–
7-6	ВТЗ-1	Мех. + Э.п.п.	–	358	–	–	–
7-5	ВТЗ-1	Мех. + Э.п.п.	–	357	–	–	–
7-4	ВТЗ-1	Мех. + Э.п.п.	–	358	–	–	–
1-7	ВТ-6	Мех. + Э.п.п.	–	442	–	–	–
1-8	ВТ-6	Мех. + Э.п.п.	–	440	–	–	–
1	2	3	4	5	6	7	8
7-25	ВТЗ-1	V + (TiV)N + ((TiV)+(TiV)N) × 17)	14 – 15	19950	36	50/50	50/50
7-19				20100			

Оценка сопротивления эрозии проводилась в соответствии ГОСТ 23201-78 на специальном стенде, при углах атаки $\alpha = 60^\circ$ и $\alpha = 15^\circ$. Число оборотов диска центробежного ускорителя составило $n = 5700 - 5800$ об/мин (59 - 60

м/с). В качестве абразива использовался песок марки 5К30302-0,25 с размером частиц от 180 до 400 мкм и электрокорунд марки F-280 с размером частиц до 50 мкм. Эрозионная стойкость оценивалась по уносу массы исследуемого образца Δm , отнесенная ко времени испытания.

Экспериментальные значения сопротивления поверхности эрозии приведены в таблице 2 и на рисунках 1-3.

Таблица 2. Результаты эрозионных испытаний

№ образца	Скорость V , м/с	Расход абразива P , г	Время испытания за один цикл, с	Количество циклов испытания N , шт	Унос массы Δm , г $\times 10^{-6}$	Средний унос массы за один цикл $\Delta m/N$ г $\times 10^{-6}$
Угол атаки $\alpha = 60^\circ$						
7 – 3	60	50	80	22	8323	334
7 – 6	60	50	80	22	6906	314
1 – 7	60	50	80	5	2100	420
1 – 8	60	50	50	22	4484	204
Угол атаки $\alpha = 15^\circ$						
7 – 19	60	50	80	15	290	19,3
7 – 25	60	50	80	15	260	17,33
7 – 5	60	50	80	15	848	58,3
7 – 4	60	50	80	15	742	50

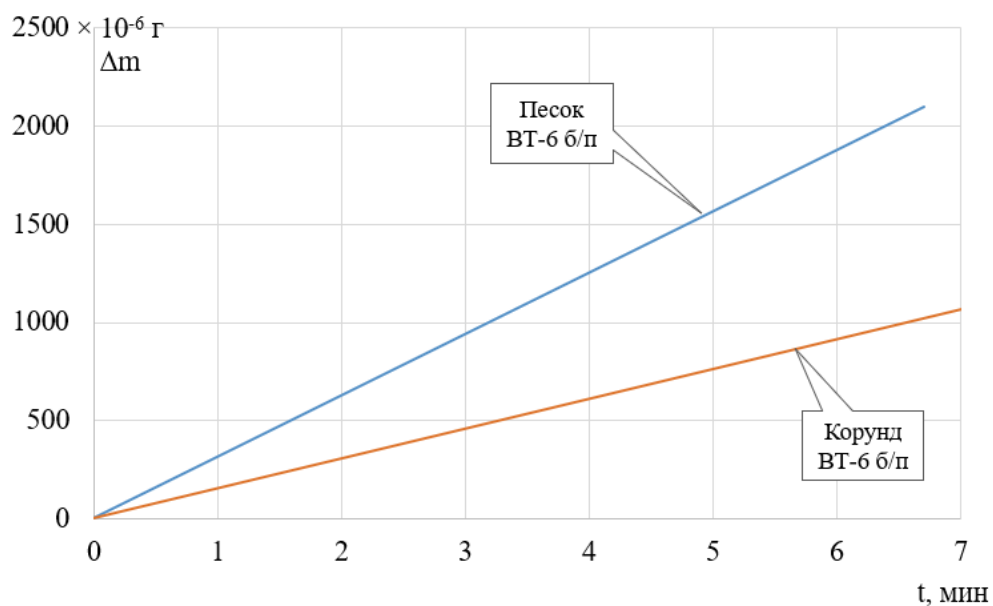


Рис. 1. Зависимость уноса массы образца от времени испытаний, скорость $V = 60$ м/с, угол атаки $\alpha = 60^\circ$, абразив – песок 5К30302 и электрокорунд F-280

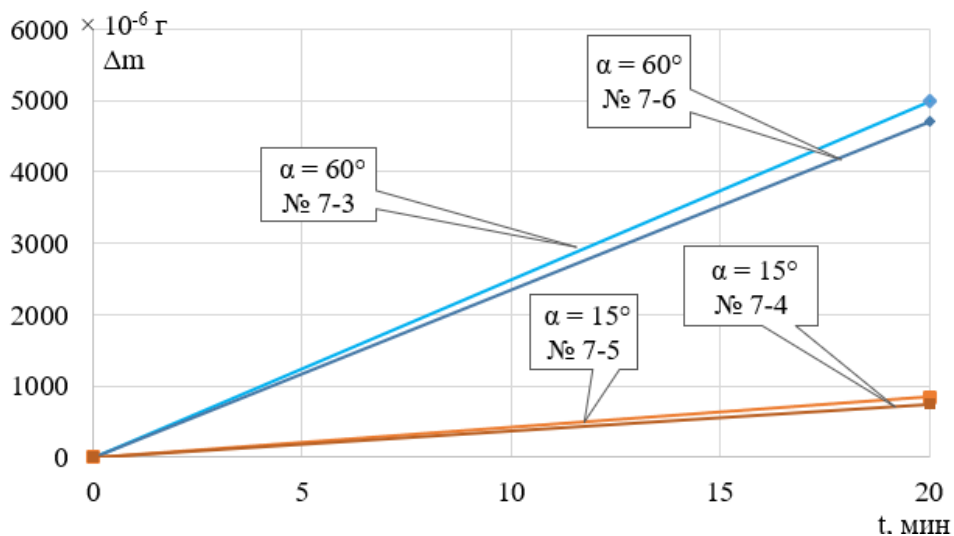


Рис.. 2. Зависимость уноса массы образца от времени испытаний, сплав ВТЗ – 1, без покрытия

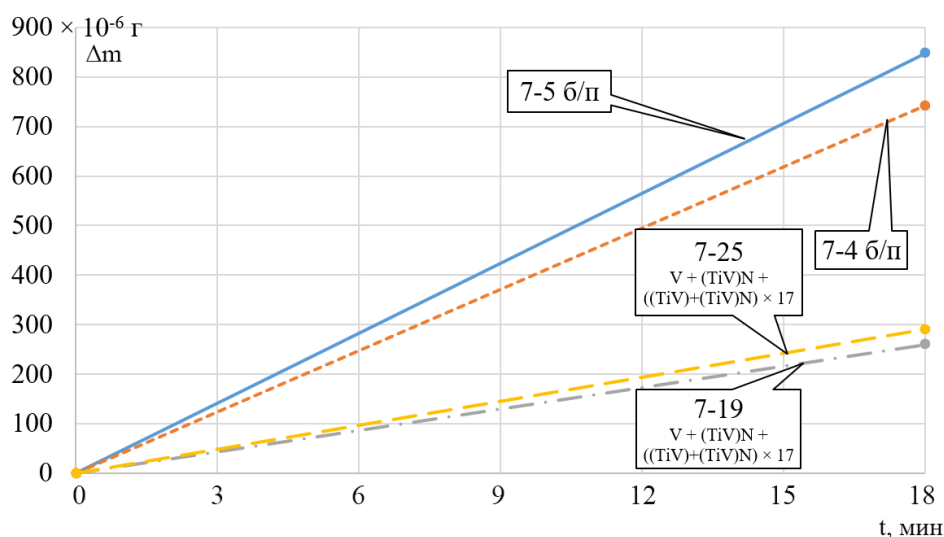


Рис. 3 Зависимость уноса массы образца времени испытаний, скорость $V = 60$ м/с, абразив – песок 5К30302, угол атаки $\alpha = 15^\circ$, сплав ВТЗ – 1

При проведении сравнительных эрозионных испытаний сплавов ВТЗ-1 и ВТ6, а также покрытий, нанесенных на образцы из этих сплавов, при использовании абразивных частиц:

1) Эрозионный износ сплавов ВТ-6 без покрытия при испытаниях с электрокорундом марки F-280 с размером частиц до 50 мкм, в 2 раз ниже, с песком марки 5К30302-25 с размером частиц до 400 мкм (рисунок 1). Это связано с тем, что при увеличении фракционности песка меняется характер эрозионного износа, при котором покрытие изнашивается интенсивнее из-за пластической деформации, наклепа и усталостного износа. Это происходит из-за того, что при увеличении фракционности песка масса частиц увеличивается пропорционально их радиусу в кубической степени (R^3); соответственно, также возрастает энергия удара, что увеличивает скорость эрозионного износа.

2) Эрозионный износ сплавов ВТЗ-1 без покрытия при испытаниях с углом атаки абразива $\alpha = 15^\circ$ в 6 раз ниже, чем при угле атаки $\alpha = 60^\circ$ (рисунок 2). Это связано с тем, что при угле атаки абразива $\alpha = 15^\circ$ частица песка совершает касательный удар, при котором значительно уменьшается нормальная составляющая скорости частицы и увеличивается касательная составляющая скорости частицы, за счет чего основной механизм износа состоит в эффекте микрофрезерования поверхности образца. Данный процесс подтверждается небольшой массой уноса материала покрытия при эрозионных испытаниях. При угле атаки $\alpha = 60^\circ$ большую роль приобретают нормальные составляющие скорости частиц, что характеризуется высокой степенью пластической деформацией, наклепом и усталостным износом, при

котором масса эрозионного уноса больше, по сравнению с износом при микрофрезеровании.

3) Образцы № 7-19, 7-25 с покрытием толщиной 15 – 16 мкм, состоящим из 36 чередующихся слоев метала-нитрид толщиной 0,38-0,4 мкм, где увеличена доля металла до 50% (в данном случае (Ti+V)), значительно повышается пластичность покрытия, о чем свидетельствует снижение микротвердости до 20000 МПа, показали повышение эрозионной стойкости в 3 раза по сравнению с исходным сплавом ВТЗ-1. (рисунок 1). Такая архитектура покрытия и фазовый состав позволили повысить демпфирующую способность и значительно увеличить диссипацию энергии удара частицы в разнородных слоях.

Выводы:

1) Установлено, что при увеличении фракционности песка - меняется характер эрозионного износа характер эрозионного износа, при котором покрытие изнашивается интенсивнее из-за пластической деформации, наклепа и усталостного износа, в связи с увеличением массы частиц и соответственно увеличении энергии удара.

2) Установлено, что при угле атаки $\alpha = 60^\circ$ большую роль приобретают нормальные составляющие скорости частиц, что характеризуется высокой степенью пластической деформацией, наклепом и усталостным износом, при котором масса эрозионного уноса выше, по сравнению с уносом при микрофрезеровании, которым характеризуется эрозионный износ при $\alpha = 15^\circ$

3) Получено защитное ионно-плазменное покрытие, с покрытием толщиной 15 – 16 мкм, состоящим из 36 чередующихся слоев, метала-нитрид, которое повышает эрозионную стойкость лопаток из сплава ВТЗ-1 не менее чем в 3 раза при воздействии абразивными частицами от 180 до 400 мкм при угле атаки $\alpha = 15^\circ$.

Список литературы

1. Анализ некоторых физико-технических характеристик ионно-плазменного покрытия (TiZr)N на лопатках ротора компрессора газотурбинного двигателя ТВЗ-117 / К.А Корсунов, Е.А. Ашихмина // Автоматическая сварка, 2014. № 2 (729). С. 49-54. Бібліогр.: 14 назв. рос.
2. Богуслаев В.А., Муравченко Ф.М. и др. Технологическое обеспечение эксплуатационных характеристик деталей ГТД. Лопатки компрессора и вентилятора. Часть 1 / ОАО "Мотор Сич", 2003. 420 с.
3. Смыслов А.М., Дыбленко Ю.М., Еникеев Г.Г., Дыбленко М.Ю., Гордеев В.Ю., Гумеров А.В. Повышение эксплуатационных характеристик лопаток компрессора ГТД из титановых сплавов и сталей методами вакуумно-плазменных технологий высоких энергий (ВПТВЭ) // Климовские чтения -

2015: перспективные направления развития авиа-двигателестроения:
Сборник докладов научно-технической конференции. СПб.: Скифия-принт,
2015. С. 294-299.