

УДК 621.793.74

ИЗНОСОСТОЙКИЕ ПОКРЫТИЯ, ПОЛУЧЕННЫЕ МЕТОДОМ ИОННО-ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ

Наталья Сергеевна Наумова⁽¹⁾, Денис Александрович Александров⁽²⁾

Студент 5 курса⁽¹⁾,

кафедра «Материаловедение»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

ведущий инженер ВГУП ВИАМ⁽²⁾

Научный руководитель: К.О. Базалеева,

кандидат наук, доцент кафедры «Материаловедение»

Введение

Данная работа посвящена исследованию различных по составу износостойких покрытий. Данные покрытия находят свое применения в различных областях машиностроения и используются в различных парах трения и в режущем инструменте. Температурный диапазон работы таких покрытий в зависимости от задачи составляет от 200 до 800 °С. Одной из областей применения таких износостойких покрытий является авиационное двигателестроение. Газотурбинный двигатель (ГТД) имеет большое количество деталей, в том числе и пары трения, одни из которых являются щеточными или пальчиковыми уплотнениями.

Щеточные (или пальчиковые) уплотнения применяются для снижения утечки охлаждающего воздуха в турбине. Ликвидация непроизводительных утечек газа и охлаждающего воздуха представляет собой одну из наиболее важных и наиболее значительных по получаемому эффекту задач при проектировании турбины. Работа уплотнений происходит в контакте с титановыми и никелевыми роторами, разделяющими полости газоздушного тракта турбины и компрессора ГТД, приводя к износу роторов и увеличению зазора между ротором (валом) и уплотнительными элементами, что снижает эффективность работы уплотнительного соединения и приводит к потерям охлаждающего воздуха. Износ ротора или вала компрессора и турбины ГТД, работающих при высоких температурах и скоростях вращения, может привести к снижению их усталостной прочности и разрушению.

Для предотвращения утечки охлаждающего воздуха необходимо применять износостойкие покрытия, которые должны защитить детали вала и ротора ГТД, работающие в контакте со щеточными или пальчиковыми уплотнениями от износа. По данным отечественных и зарубежных источников, износостойкими высокотемпературными покрытиями можно считать покрытия, представляющие собой одно- или многослойные структуры из твердых материалов с КТЛР, близким к КТЛР основного материала, обладающие низким коэффициентом трения и хорошей обрабатываемостью, позволяющей получать шероховатость рабочей поверхности $R_a < 1$ мкм [3, 4, 6]. Такие покрытия имеют высокую адгезию к основному материалу и обладают достаточно высокой теплостойкостью, коррозионной стойкостью и износостойкостью. Основным методом нанесения износостойких покрытий является метод ионно-плазменного напыления.

В данной работе, исходя из износостойкости и рабочей температуры (450 °С), предпринята попытка подобрать покрытия оптимального состава для никелевого ЭП742 (Ni-14%Cr-10%Co-5%Mo-2%Nb-2.6%Al-2.6%Ti-0.08%C) и титанового ВТ8 (Ti-6.3%Al-3.3%Mo-0.3%Si-0.3%Fe-0.15%Zr-0.1%C) сплавов.

Исследуемые образцы

На исследуемые образцы никелевого ЭП742 и титанового ВТ8 сплавов нанесены системы износостойких высокотемпературных покрытий: TiNC, TiN (по различным

технологиям), СДП-2 (Cr-20%, Al-12%, Y-0,5%), ВЖЛ-2 (Ni, Cr, W, Mo, Ti, Al), (ВЖЛ-2)С и CrC+Cr. Нанесение покрытий проводилось на автоматизированной ионно-плазменной промышленной установке МАП-3 (рис. 1), оборудованной ионным ускорителем, позволяющим проводить имплантацию обрабатываемой поверхности и ассистированное осаждение упрочняющих покрытий ионами нейтрального или реактивного газов. Предварительно подготовленные к нанесению покрытия образцы (виброгалтовка и промывка в ультразвуковой ванне) устанавливаются в технологической оснастке на позиции вращения планетарного механизма. Камера вакуумируется до остаточного давления 10^{-1} Па. После включения электроприводов деталям сообщается планетарное вращение вокруг собственной оси и одновременно вокруг катода, который вместе с оправкой совершает возвратно-поступательное движение по вертикали, со скоростью 0,01 м/сек. Затем включаются катушки анода и электромагнитного фиксатора и на покрываемые детали подается отрицательный электрический потенциал. Возбуждение вакуумного дугового разряда между катодом и анодом достигается с помощью механизма зажигания, обеспечивающего кратковременный токовый контакт между поджигающим электродом и катодом.

Технологический процесс нанесения покрытий включает в себя следующие стадии: очистка обрабатываемой поверхности ионами металла покрытия при напряжении смещения на деталях 250-350 В и токе вакуумной дуги 500-700 А, стадию плазмохимического синтеза (осаждения покрытия в атмосфере реакционных газов ацетилена или азота при давлении) при напряжении смещения на деталях 150-180 В и давлении реакционного газа 0,2-0,6 Па.

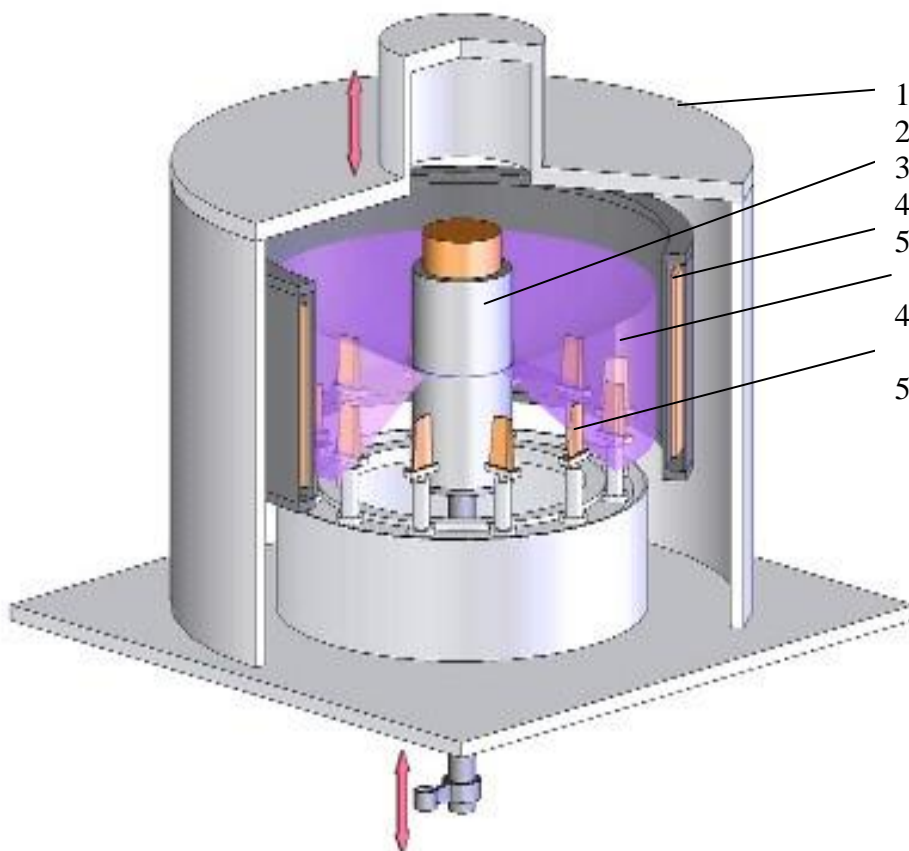


Рис. 1. Схема процесса ионно-плазменного нанесения покрытий в установке типа МАП:

1-вакуумная камера; 2 – трубный катод из испаряемого материала; 3- анод установки с магнитной катушкой; 4 – радиальный поток плазмы испаряемого материала; 5 – обрабатываемые изделия

Ожидаемое строение износостойких покрытий показано на рис. 2 (а, б).

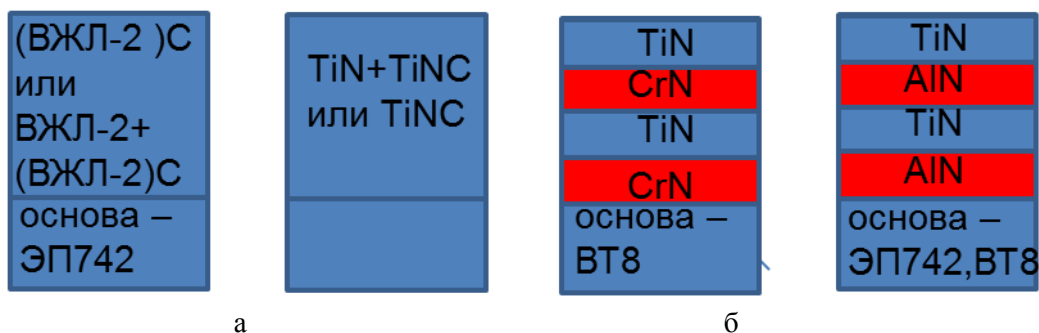


Рис. 2. Структура покрытий:

а - монослойные и комбинированные; б – нанослойные и микрослойные

Методика проведения испытаний

Структуру полученных покрытий исследовали методом металлографического анализа на оптическом микроскопе GX 500 фирмы Olympus при увеличениях 500 и 1000 крат. Поверхность образцов предварительно шлифовали и полировали.

Испытания покрытий на износ проводили при температуре 20 °С и 450 °С согласно ASTM G 99-05 на трибометре UMT-3 фирмы CETR (США), представленном на рис. 3.



Рис.3. Трибометр UMT-3 фирмы CETR

Испытания проводили при следующих параметрах: время проведения испытания – 3600 с, температура испытаний – 20 и 450 °С, материал шарика контртела -карбид вольфрама, нагрузка – 10 Н, скорость вращения диска – 0,1 м/с. Условная схема испытания на износ показана на рис.4.

Износостойкость определяли механическим профилометром Hommel Tester T 500 (рис. 5). После проведения испытаний с помощью профилометра измерялась глубина дорожки, образца с покрытием и без него. Оценивали два параметра: линейный износ и износостойкость покрытия относительно основы - это отношение линейного износа основы к линейному износу покрытия.

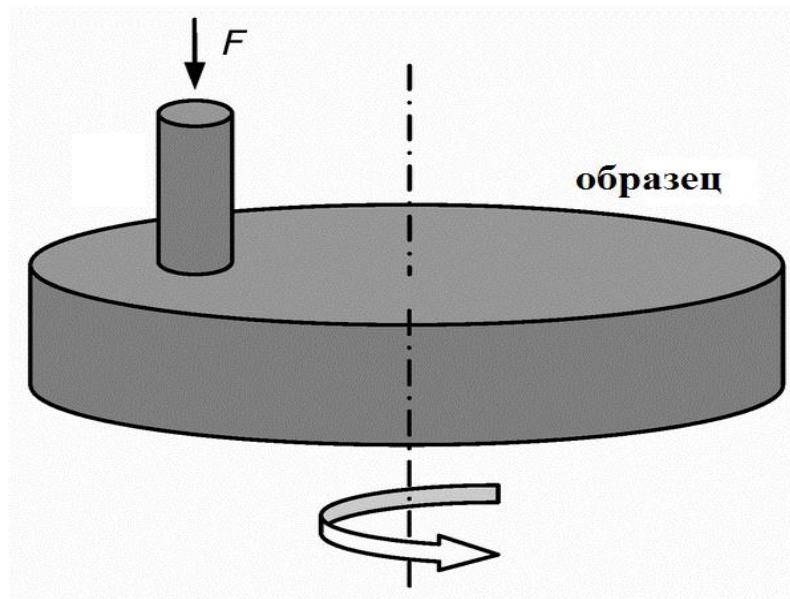


Рис. 4. Схема испытания на износ



Рис.5. Профилометр Hommel Tester T 500

Результаты испытаний и их обсуждение

На рисунке 6 приведена структура исследуемых износостойких покрытий. Оптически была оценена толщина данных покрытий; значения толщин износостойких покрытий приведены в таблице 1.

Таблица 1. Толщина износостойких покрытий

Основа+покрытие	Толщина, мкм
BT8+TiNC	11
BT8+ВЖЛ-2	17
BT8+TiN	9
ЭП742+ ВЖЛ-2	22
ЭП742+ TiAlN	3

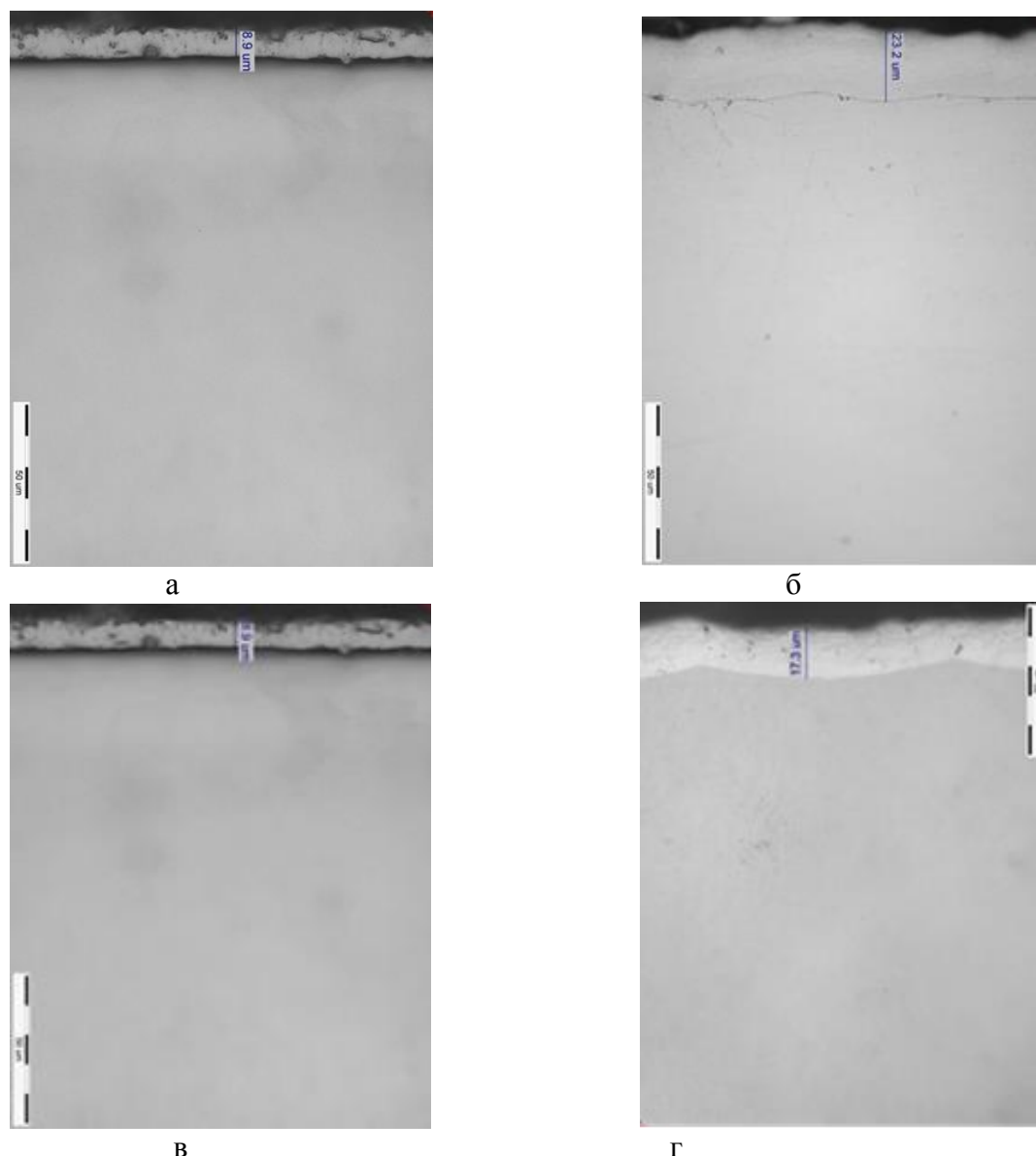


Рис. 3. Структура покрытий: а - покрытие TiN на сплаве VT8, x1000; б - покрытие (ВЖЛ-2)С на сплаве ЭП742, x 1000 ; в - покрытие TiNC на сплаве VT8, x 1000; г - покрытие ВЖЛ-2 на сплаве VT8, x1000

Результаты испытаний на износ приведены в таблице 2 и 3.

Таблица 2. Результаты испытаний на износ образцов титанового сплава VT8 с износостойкими покрытиями

Основа + покрытие	Тип обработки поверхности	Линейный износ, мкм (при 20° С /450 ° С)	Износостойкость покрытия относительно основы, раз
VT8, без покрытия	шлифовка	10/17	-
VT8+TiN-Ti-TiN	шлифовка	1/1	10/17
VT8+ВЖЛ-2*	шлифовка	8/10	1,25/1,7
VT8+TiNC	шлифовка	1/0,8	10/21,25
VT8+TiN	шлифовка	0,5/0,8	20/21,25

*-ВЖЛ-2(Ni, Cr, W, Mo, Ti, Al)

Таблица 3. Результаты испытаний на износ образцов никелевого сплава ЭП742 с износостойкими покрытиями

Основа + покрытие	Тип обработки поверхности	Линейный износ, мкм (при 20° С /450° С)	Износостойкость покрытия относительно основы, раз
ЭП742, без покрытия	шлифовка	15/15	-
Cr ₃ C ₂ -Cr	шлифовка	2/5	7,5/3
ВЖЛ-2	шлифовка	7/8	2,1/1,8
(ВЖЛ-2)С	шлифовка	1,5/1,5	10/10
СДП-2**	шлифовка	3/12	5/1,25
TiAlN	шлифовка	9/10	1,6/1,5

** - СДП-2 (Cr-20%, Al-12%, Y-0,5%)

Результаты испытаний на износ при 450 °С показывают, что наиболее износостойкими покрытиями на сплаве ВТ8 являются системы на основе титана: TiN+Ti+TiN, TiN, TiNC, повышающие износостойкость сплава ВТ8 в 17-21 раз. На образцах из сплава ЭП742 с покрытием (ВЖЛ-2)С достигнуто повышение износостойкости в 10 раз.

Выводы

1. Рассмотрены износостойкие покрытия для титанового сплава ВТ8 и никелевого сплава ЭП742. Оценка износостойкости проводилась при температурах 20 °С и 450 °С.
2. Наибольшая износостойкость при 20 °С получена у покрытия TiN для титанового сплава ВТ8, а для сплава ЭП742 у покрытия (ВЖЛ-2)С.
3. При температуре 450 °С лучшие результаты получили покрытия TiN, TiNC на основе титанового сплава и (ВЖЛ-2)С на основе никелевого сплава.

Литература

1. T.S. Li, H. Li, F.Pan. Microstructure And Nanoindentation Hardness Of Ti/Tin Multilayered Films // Surface Coating and Technology, 137 (2001), pp. 225-229.
2. Панфилов Ю.В., Беликов А.И., Гладышев И.В., Каменева А.Л., Демин Д.Ю., Кирюханцев-Корнеев Ф.В., Трофимова Л.А., Оборин А.П., Трофимов Е.М., Ужегов П.А. Наноструктурированные износостойкие многокомпонентные тонкопленочные покрытия, 2005, Упрочняющие технологии и покрытия, №4, с.30-34.
3. Углов В.В., Приходько Ж.Л., Ходасевич В.В., Приходько И.И., Эйзнер А.Б. Влияние состава на механические свойства покрытий, сформированных методом конденсации с ионной бомбардировкой, 2003, Физика и химия обработки материалов, №5, с.48-52
4. Каблов Е. Н., Мубояджян С. А., Будиновский С.А., Помелов Я. А. Ионно-плазменные защитные покрытия для лопаток газотурбинных двигателей, 1999 г. Конверсия в машиностроении 2, стр. 42-47.
5. Мигранов М. Ш. Триботехнические характеристики инструментов с износостойкими покрытиями. // Уфимский государственный авиационный технический университет// 2011-стр. 93-97.
6. Каблов Е.Н. Литые лопатки газотурбинных двигателей: сплавы, технологии, покрытия. 2-е изд. – М.:Наука, 2006.-632 с.