

## ОСОБЕННОСТИ ИЗНАШИВАНИЯ ПЛАЗМЕННОГО ПОКРЫТИЯ СИСТЕМЫ TiC-Co НА ТИТАНОВОМ СПЛАВЕ BT-22

Национальный авиационный университет, LSD-Tuning@ukr.net

*Проведено исследование триботехнических характеристик плазменного покрытия системы TiC-Co на сплаве BT-22. В работе представлены характеристики износа гетерогенного покрытия в аналитической форме.*

**Суть проблемы.** Узлы трения высокоскоростной и авиационной техники в значительной степени определяют ресурс, надёжность, долговечность и безопасность функциональных систем, где для их важнейших элементов, помимо высокой прочности нужны также хорошие антифрикционные свойства [1–3]. Исходя из того, что титановые сплавы склонны к схватыванию и задирам, они требуют нанесения покрытий обладающих высокими триботехническими свойствами.

Поэтому, в настоящей работе была поставлена задача, исследовать процесс износа плазменного покрытия нанесённого на титановый сплав BT-22 порошком карбида титана, плакированного (автоклавным методом) кобальтом, а также изучить трибологические структуры, самообразующиеся в контакте при трении и определяющие уровень трибологических характеристик в антифрикционных системах.

**Методика и постановка эксперимента.** Напыление покрытий проводили на установке УПУ-3Д дуговым плазмотроном ПП-25 по следующему режиму: сила электрического тока дуги  $I = 290$  А, напряжение на дуге  $U = 50$  В, расход плазмообразующей смеси (аргона) –  $1,4 \times 10^{-4}$  м<sup>3</sup>/с; расход транспортирующего газа –  $0,3 \times 10^{-4}$  м<sup>3</sup>/с; расход напыляемого порошка – 2,5 кг/ч; дистанция напыления – 100 мм. Плазменное покрытие, полученное на указанном режиме, имело микротвёрдость  $H_{\mu} = 25,9$  ГПа и плотность – в пределах 85–93 % от теоретической.

Порошки дисперсностью 100-150 мкм наносили на подготовленную рабочую поверхность (пескоструйная обработка) образцов из

титанового сплава ВТ-22 (Ti-5Al-5Mo-5V-1Cr-1Fe). Полученные покрытия толщиной 350-400 мкм шлифовали до толщины 300 мкм (шероховатость поверхности  $R_a = 0,32$  мкм), измеряли размеры и вес.

Триботехнические испытания плазменного покрытия TiC-Co проводили на модернизированной установке 2070 СМТ-1 по схеме трения скольжения в гидравлической жидкости АМГ-10 (ГОСТ 6794-75) образца из высокопрочного титанового сплава ВТ-22 ( $\sigma_b = 1130$  МПа), поверхность трения которого с нанесённым покрытием выполнена в виде сектора. Эта поверхность скользит по внешней образующей вращающегося кольцевого контртела (из безоловянной бронзы БрАЖМц10-3-1,5 (CuAl<sub>10</sub>Fe<sub>3</sub>Mn<sub>1</sub>) и гальванического хрома на ВТ-22) диаметром 50 мм, коэффициент перекрытия равен 0,2.

**Результаты исследований.** Для плазменного покрытия системы TiC-Co был реализован центральный ротатальный план второго порядка для двух факторов [3], в котором скорости скольжения ( $x_1$ ) варьировали в диапазоне 0,2-1,2 м/с, нагрузки ( $x_2$ ) – в диапазоне 2-12 МПа. Каждый опыт состоял из этапа приработки на пути трения 2 км и зачётного испытания – 10 км.

В таблице 1 приведены математические модели интенсивности износа ( $i$ ) для плазменного покрытия системы TiC-Co и контртел, средние значения коэффициента трения ( $\mu$ ), а также значения среднеквадратичного отклонения ( $\sigma$ ) по результатам четырёх экспериментов в центре опыта. В данной таблице приведены средние значения безразмерной величины интенсивности износа (1 км за 1 км пути трения).

Таблица 1

**Характеристики процесса износа плазменного покрытия на ВТ-22 при трении по гальваническому хромированию на ВТ-22 и бронзе БрАЖМц10-3-1,5 в смазке АМГ-10**

№	Покрытие	Интенсивность износа покрытия, $\times 10^{-9}$	$\sigma$	$\mu$
	Контртело	Интенсивность износа контртела, $\times 10^{-9}$		
1	TiC-Co	$i(\bar{x}) = 5,5 + 1,1x_1 + 3,0x_2 - 1,3x_1x_2 + 2,1x_2^2$	0,6	0,15
	Хром. на ВТ-22	$i(\bar{x}) = 8,8 + 1,7x_1 + 2,4x_2 - 1,5x_1x_2 + 1,6x_2^2$	0,7	
2	TiC-Co	$i(\bar{x}) = 13,5 - 2,1x_1 + 4,3x_2 + 1,2x_1x_2 + 2,3x_2^2$	0,5	0,14
	БрАЖМц 10-3-1,5	$i(\bar{x}) = 23,2 + 2,3x_1 + 5,4x_2 - 1,5x_1^2 + 4,3x_2^2$	1,1	

Анализ экспериментальных данных и металлографические исследования (табл. 1, рис. 1–3) показывают, что плазменное покрытие, нанесённое порошком карбида титана, имеет тонкую гетерогенную структуру (рис. 1, *а, б*). Композиция карбидов и металлической связки, обладающие сложной комбинацией механических и электрохимических свойств, благоприятствует взаимодействию поверхностных элементов плазменного покрытия с молекулами смазки и контртела, активизированными при трении. Образующиеся в результате многоэтапного синтеза трибологические структуры определяют уровень триботехнических характеристик, приближающихся по характеристикам к электрохимическому хромированию (рис. 1, *в, з*).

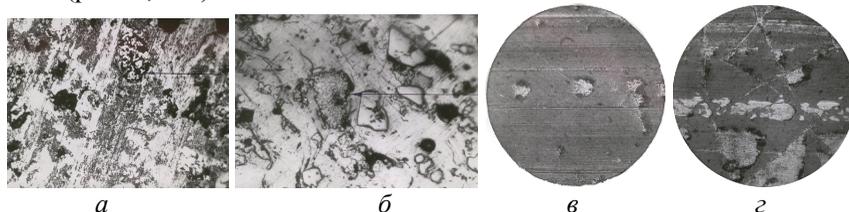


Рис. 1. Структура: поверхности плазменного покрытия TiC-Co после трения по хрому на VT-22 (*а*),  $\times 300$ ; плазменного покрытия TiC-Co на VT-22 (*б*),  $\times 400$ ; поверхности электролитического хрома на VT-22 после трения по плазменному покрытию системы TiC-Co (*в, з*),  $\times 200$

Значения коэффициента трения плазменного покрытия системы TiC-Co по электрохимическому хрому на VT-22 практически того же порядка, что и при трении по бронзе БрАЖМц10-3-1,5 (табл. 1). Суммарная интенсивность износа плазменного покрытия системы TiC-Co в условиях трения скольжения в гидрожидкости АМГ-10 и хрома в 2-4,7 раз ниже (рис. 3, *а*), чем при трении с бронзой (рис. 3, *б*). Происходит это за счёт лучших триботехнических свойств хрома в исследуемой области эксперимента.

Испытания в производственных условиях ГП МО Украины «Луцкий ремонтный завод «МОТОР» деталей авиационной техники из титановых сплавов с нанесёнными плазменными покрытиями системы TiC-Co показали повышение износостойкости по сравнению с существующей заводской технологией восстановления.

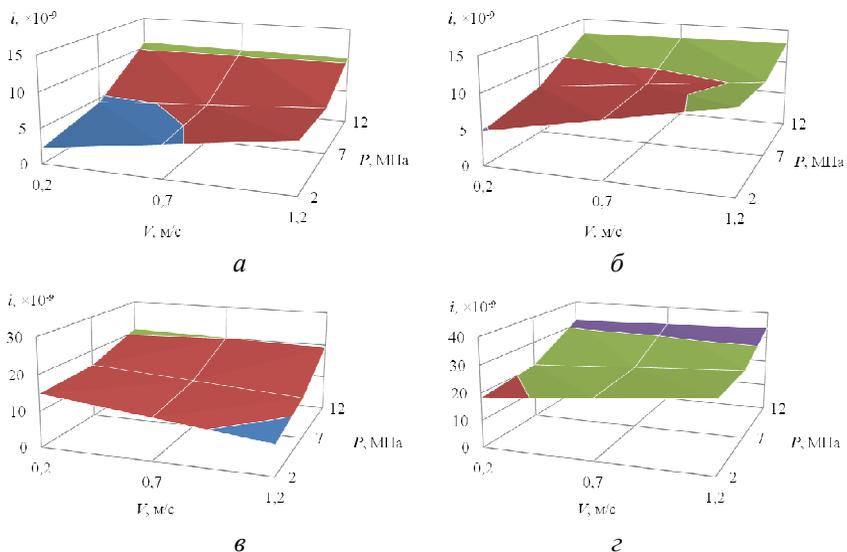


Рис. 2. Поверхности отклика триботехнических испытаний: плазменного покрытия TiC-Co на ВТ-22 (а, в); электрохимического хромирования на ВТ-22 (б); контрола из БрАЖМц10-3-1,5 (г)

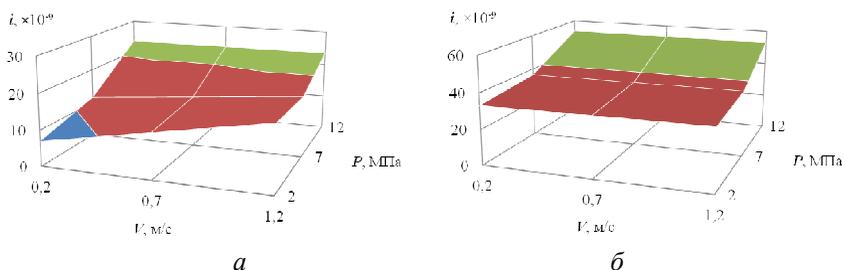


Рис. 3. Зависимость изменения суммарной интенсивности износа от скорости скольжения и нагрузки плазменного покрытия системы TiC-Co на ВТ-22 и: гальванического хромирования на ВТ-22 (а); БрАЖМц10-3-1,5 (б)

**Выводы.** Триботехнические характеристики пары трения «плазменное покрытие системы TiC-Co по хромированию на ВТ-22» несколько выше, чем в паре трения включающую бронзу БрАЖМц10-3-1,5. При трении покрытия TiC-Co по гальваническому хромированию на сплаве ВТ-22, трибологические структуры образуются из сложных окислов, асфальтенов, коксов и др.

Высокая производительность плазменного напыления, уровень триботехнических характеристик, а также незначительное влияние технологии на механические свойства титана свидетельствует о перспективности применения таких покрытий для улучшения антифрикционных свойств титановых сплавов.

### Список литературы

1. Шевченко А. Л. Применение титановых сплавов в автомобильной и мотоциклетной промышленности / Алексей Леонидович Шевченко // Проблемы тертя та зношування: наук.-техн. зб. – К.: НАУ, 2011. – Вип. 55. – С. 198 – 208.

2. Триботехнические свойства плазменных покрытий на титановом сплаве VT-22 / [Киндрачук М. В., Кульгавый Э. А., Корбут Е. В., Шевченко А. Л.] // Проблемы тертя та зношування: наук.-техн. зб. – К.: Видавництво НАУ «НАУ-друку», 2008. – Вип. 50. – С. 171 – 179.

3. Киндрачук М. В. Механизм износа гетерогенных газотермических покрытий на титановом сплаве VT-22 / Киндрачук М. В., Кульгавый Э. А., Шевченко А. Л. // Проблемы трибології (Problems of Tribology). – 2011. № 1 (59). – С. 80–87.

**Шевченко О.Л. Особливості зношування плазмового покриття системи TiC-Co на титановому сплаві VT-22** // Проблемы тертя та зношування: наук.-техн. зб.–К.: НАУ, 2012. – Вип. 57. – С.251–255. Проведено дослідження триботехнічних характеристик плазмового покриття системи TiC-Co на сплаві VT-22. В роботі представлені характеристики зносу гетерогенного покриття в аналітичній формі.

Рис. 3, список літ. 3 найм.

### **Shevchenko O.L. Wear features of plasma coating of TiC-Co system on titanium alloy VT-22**

The investigation of tribotechnical characteristics of the TiC-Co plasma coating of the VT-22 alloy was carried out. The paper presents the wear characteristics of the heterogeneous coating in an analytical form.

**Ключевые слова:** плазменное покрытие TiC-Co, титановый сплав, VT-22, триботехнические характеристики.

Стаття надійшла до редакції 16.03.2012