

УДК 621.2.082.18

О. В. ТІСОВ, С. В. ФЕДОРЧУК, А. О. ЮРЧУК

Національний авіаційний університет, Україна

## ПОВЕРХНЕВА ОБРОБКА ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ СПЛАВІВ НА ОСНОВІ КОБАЛЬТА

*Досліджено методи поверхневої обробки кобальтових сплавів з метою покращити триботехнічні властивості, зокрема – припрацювання. Запропоновано метод високотемпературного оксидування, що пом'якшує початковий режим роботи, і термоцикловання лазером з метою зміцнення зв'язку із матрицею і наповнювачем композиційних порошкових сплавів.*

**Ключові слова:** високотемпературний фретинг, кобальт, карбід титану, зносостійкість, оксидування, лазерна обробка.

**Актуальність дослідження.** Сучасні авіаційні двигуни є складними технічними системами, які мають обмежений ресурс використання, і є дуже дорогими в обслуговуванні і особливо в ремонті. Зростання вимог до паливної ефективності ставить необхідність підняти температуру робочого циклу (згоряння палива), що неодмінно призводить до підвищення зношування деталей гарячої частини ГТД. Одним із найкритичніших трибосполучень турбіни з точки зору інтенсивності зношування є бандажні полиці, по яких лопатки контактують одна з одною. Тертя, що виникає на їх поверхнях гасить вібрації в пері лопатки

У ряді робіт [1; 2] для збільшення ресурсу цього трибовузла запропоновано використовувати композиційні порошкові сплави на основі кобальту. Поверхнева обробка цих матеріалів дозволить покращити процес їх припрацювання на початковому етапі роботи, а також за рахунок зміцнення сполучення матричного матеріалу з наповнювачем покращити їх зносостійкість в умовах високотемпературного фретингу.

**Матеріали і методика досліджень.** Зразки порошкових сплавів для дослідження виготовляли методом порошкової металургії, що полягав у розмелюванні порошкових сумішей у планетарному млині та активованому спіканні у процесі гарячого пресування. Для виготовлення пресованих зразків використовувались порошки кобальту, хрому, алюмінію, заліза, карбіду та карбіду титану. Склад сплавів і частка наповнювача вказані в табл. 1. Мікроструктура сплавів наведена на рис. 1.

Таблиця 1

Склад композиційних сплавів\*

№ п/п	Матеріал	Co	TiC, %, об/мас	Cr, %, мас	Al, %, мас	Fe, %, мас	W, %, мас
1	Сплав 1	55,5	30/19	19,6	2,95	2,95	0
2	Сплав 2	43,83	50/36	15,5	2,33	2,33	0
3	Сплав 3	40	60/43	13	2	2	0

\*Кобальтова матриця всіх сплавів містить 20 – 24% мас. хрому, 3,5 – 4 % мас. алюмінію і заліза.

Дослідження трибологічних характеристик зразків використано стандартну методу для дослідження матеріалів в умовах високотемпературного фретингу

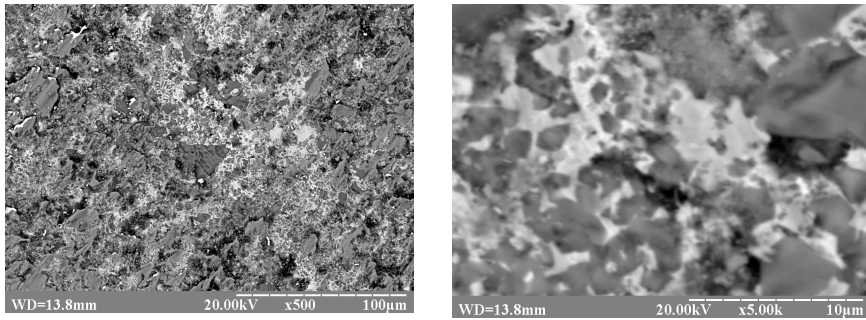


Рис. 1. Характер мікроструктури порошквх композиційних сплавів системи Co-TiC

з кільцевим контактом в однойменних парах тертя на установці МФК-1 [3]. Параметри навантаження обрали наступними: питоме контактне навантаження –  $P=40$  МПа; амплітуда відносного переміщення зразків –  $A=120$  мкм; частота коливань – 30 Гц; база випробувань –  $5 \cdot 10^5$  цикл.; температура оточуючого середовища –  $650-1050^\circ\text{C}$ . Оксидування проводили в електричній печі а атмосфері повітря за обраним температурним режимом.

Поверхневу термічну обробку проводили за допомогою імпульсного  $\text{CO}_2$  лазера дискретно точками без оплавлення [4]. Нагрівання проводили до температури  $850^\circ\text{C}$  з подальшим зниженням до  $350^\circ\text{C}$  в режимі термоцилювання. Площа обробки коливалась в межах 10–40 % від загальної площі поверхні з питомою попотужністю ( $10^5-10^8$ ) Вт/см<sup>2</sup>. Діаметр плями фокусування складав 0,5 мм. з глибиною, рівною діаметру плями

**Вплив оксидування на припрацювання сплавів.** Метод нанесення оксидних шарів полягає в контрольованому насиченні поверхневого шару матеріалу киснем. Метою отримання таких шарів є: 1) формування дифузійного бар'єра для проникнення кисню, азоту та інших компонентів атмосфери в сплав; 2) пришвидшення процесу припрацювання робочих поверхонь; 3) пом'якшення процесу припрацювання. Для визначення оптимальних параметрів оксидування поверхонь і для формування оптимальних за товщиною шарів було проведено вивчення вплив температури і часу оксидування.

Оксидування за температури  $1200^\circ\text{C}$  створює оксидні шари великої товщини. Випробування на зносостійкість показали, що він зношується дуже швидко, уже в перші 50–80 тис. циклів, що призводить до збільшення кількості продуктів зношування, однак при цьому дещо зменшується коефіцієнт тертя. Надалі помітного впливу на зношування такого шару не спостерігається. Однак, значна інтенсивність окиснення за таких температур призводить до неконтрольованого і нерівномірного окиснення, що не дозволяє прогнозувати товщину оксидних шарів. Це зумовить розбіжність в розмірах лопаток і сили попереднього натягу і як наслідок – нерівномірне зношування. Зменшення температури оксидування до  $700-800^\circ\text{C}$  характеризується утворенням тонких суцільних оксидних шарів. Результати досліджень на зносостійкість наведені в табл. 2.

Результати досліджень свідчать про позитивний вплив оксидування на зносостійкість композиційних сплавів на основі кобальту з карбідом титану як наповнювача. Попереднє формування оксидного шару покращує зносостійкість досліджених сплавів у середньому на 20%, що може вважатись задовільним результатом. Підготовлена поверхня легше припрацьовується і швидше досяга-

Таблиця 2

## Результати випробувань на зносостійкість порошкових сплавів

Матеріал	Уміст TiC % об.	Середній лінійний знос, мкм			
		Необроблений	Оксидування $T = 800\text{ }^{\circ}\text{C}$		
			30 хв	1 год	2 год
Сплав 1	30	16	14	12	21
Сплав 2	50	9	8	7	9
Сплав 3	60	14	13	10	18

ється її рівноважний стан для даних умов тертя. Це передусім зумовлено тим, що зерна карбиду титану покриваються шаром твердого розчину  $\text{TiC}_x\text{O}_y$ , ( $x + y = 1$ ) [5]. Його твердість нижча за твердість неокисненого зерна, що зменшує абразивну дію TiC і сприяє пом'якшенню процесу припрацювання. Слід також відмітити, що найбільше окиснюються гострі виступи зерен карбиду за рахунок вищої концентрації поверхневої енергії, що призводить до їх згладжування.

У період припрацювання відбувається первинне утворення захисного оксидного шару. Однак, в початковий відрізок часу контактної взаємодії відбуваються процеси безпосереднього контакту металевих поверхонь, що за високих температур може призвести до схоплювання і швидкого руйнування поверхні. Попереднє нанесення оксидного шару дозволяє частково вирішити цю задачу і розділити поверхні тертя, підготувати їх до утворення рівноважного вторинного шару.

**Дискретна лазерна термоциклічна обробка.** Дискретні структури знаходять широке застосування в техніці [6] і дозволяють підвищити адгезійну і когезійну стійкість поверхні [7]. Зносостійкість дискретних покриттів у порівнянні із суцільними вища в 2–5 разів [8; 9].

Задачею даної частини дослідження є розробка і оптимізація параметрів лазерної обробки поверхні порошкового композиційного сплаву за рахунок термоциклічного відпалювання частини поверхні з метою підвищення когезійного зв'язку та зниження напружень при терті.

Обробка термоциклованням точками без оплавлення знімає внутрішні термічні напруження, що можуть утворюватись при охолодженні спресованої суміші. Такі напруження будуть негативно впливати на процеси тертя як за низьких, так і за високих температур і можуть призвести до втомного руйнування, особливо це стосується напружень розтягування.

Дослідження проводили для сплаву №2, оскільки він має найвищу зносостійкість за результатами попереднього дослідження.

За результатами досліджень (табл. 3) можна зробити висновок, що оптимальним буде оброблення 15–20% поверхні тертя протягом 5–6 термоциклів. Термоцикловання підвищує міцність зчеплення карбідних зерен з матричною фазою, а при нанесенні тонких пластин на поверхні тертя методом напаявання може позитивно вплинути на зчеплення з основою. При обробці термоциклованням утворюються ділянки з підвищеною міцністю, які, подібно до твердих вкраплень більш ефективно сприймають напруження від сил тертя. Дискретна структура, сформована термоциклованням, може сприймати значну частку енергії і більшою мірою релаксувати напруження під час тертя. Це зумовлено створенням такого напружено-деформованого стану, який забезпечує мінімальні напруження в умовах тертя.

Таблиця 3

**Результати трибологічних випробувань сплаву № 3, обробленого лазером термоциклічно без оплавлення**

Кількість циклів ТЦО	Площа обробки, %					
	10	15	20	25	30	40
	Середній лінійний знос, мкм					
2-3	14	12	14	15	17	18
5-6	12	11	9	13	16	21
8-9	14	14	11	16	18	23

**Висновки.** Оксидування поверхонь тертя композиційних сплавів на основі кобальту протягом 1 год. за температури 800 °С дозволяє на 15 – 20 % підвищити їх зносостійкість. Термоцикловання лазером без оплавлення поліпшує когезійний зв'язок в поверхневому шарі матеріалу і дозволяє підвищити зносостійкість на 30–40%. Оптимальними параметрами термоцикловання обрано температуру циклу 350↔850 °С, кількість циклів 5–6. Площа обробленої поверхні повинна складати 20–25% від загальної.

**Список літератури**

1. Духота О.І. Композиційні сплави для зміцнення контактних поверхонь бандажних полиць газотурбінних двигунів. / О.І. Духота, М.В. Кіндрачук, О.В. Тісов, Т.С. Черепова // Проблеми трибології. – 2010. – № 4. – С. 101–104.
2. Тісов О. В. Нові особливості зношування порошкових сплавів системи Co-TiC в умовах високотемпературного фретингу / О. В. Тісов // Проблеми трибології. – 2015. – №3. – С. 6-13.
3. Духота О.І. Дослідження зносостійкості жароміцних композиційних сплавів в умовах високотемпературного фретингу / [О.І. Духота, О.В. Тісов.] // Проблеми тертя та зношування: Науково-технічний збірник – К.: НАУ – 2010. - №53. – С.195-200.
4. Пат. 45549 України, МПК С23С4/18. Спосіб дискретної обробки азотованих сталевих виробів. / М.В. Кіндрачук, О.І. Духота, О.Л. Шевченко, О.В. Тісов, Л.Ф. Головка, Є.В. Корбут. Заявл. 03.07.2009; опубл. 10.11.2009. Бюл. №21. – 6 с.
5. Войтович Р.Ф. Окисление карбидов и нитридов / Р.Ф. Войтович. – К.: Наук. думка, – 1981. – 191 с.
6. Ляшенко Б.А. Упрочняющие покрытия дискретной структуры / Б.А. Ляшенко А.Я. Мовшович, А.И. Долматов // Технологические системы. – 2001. – № 4. С. 17–25.
7. Ляшенко Б.А. Технологическое обеспечение дискретной структуры при азотировании // Б.А. Ляшенко, Е.К. Соловых, В.Г. Каплун, Н.В. Липинская, П.В. Каплун. – Технологические системы. – 2009. – № 2(46) – С. 55-59.
8. Соловых Е.К. Упрочняющие дискретные покрытия и замена легированных сталей на конструкционные / Е.К. Соловых // Технологические системы – 2010. – № 4 (53). – С. 60–63.

---

*O. V. TISOV, S. V. FEDORCHUK, A. O. YURCHUK*

### **SURFACE TREATMENT OF HIGH TEMPERATURE COMPOSITE COBALT-BASED ALLOYS**

The paper investigates the methods of surface treatment of cobalt-based alloys in order to improve their tribological properties, particularly – working in process. We propose to use the method of surface oxidation what eases the initial period of wear process. This creates a thin layer of oxides, which play the role of solid lubricant. Also at high temperature it separates friction surfaces and avoids their seizure. Laser-aided thermal cycling makes the matrix-filler bond stronger. The heating in a wide range of temperatures activates diffusion of matrix into the filler. Thermal cycling mode allows leaving behind carbides coagulation. At high temperature improved phases bonding will minimize carbides fallout.

**Key-words:** high temperature fretting-wear, high temperature alloy, cobalt, titanium carbide, wear resistance, oxidation, laser treatment.

**Тісов Олександр Вікторович** – канд. техн. наук, доцент кафедри машинознавства Національного авіаційного університету.

**Федорчук Світлана Володимирівна** – старший викладач кафедри машинознавства Національного авіаційного університету.

**Юрчук Аліна Олександрівна** – канд. техн. наук, доцент кафедри комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій Національного авіаційного університету.