

ЗНОСОСТІЙКІ ТА ЖАРОСТІЙКІ СПЛАВИ НА ОСНОВІ КОБАЛЬТУ

Кіндрачук М. В., д-р техн. наук, проф., Тісов О. В.

Національний авіаційний університет

tissova@ukr.net

Досліджено триботехнічні характеристики композиційних жароміцних сплавів на основі кобальту. Проаналізовано вплив їх структури на зносостійкість. Визначено перспективний сплав, що може використовуватись під час ремонту та відновлення робочих лопаток турбін ГТД.

Ключові слова: кобальт, карбід титану, порошковий сплав, жароміцність, зносостійкість.

Current paper investigates tribotechnical properties of high temperature composite cobalt-based alloys. The influence of internal structure on their wear resistance was considered. Article points on the possibility to use them as materials at GTE turbine blades manufacturing and restoration procedures.

Keywords: cobalt, titanium carbide, powder alloy, heat resistance, wear resistance.

Стан проблеми. На сьогодні в умовах постійного зростання вартості паливно-мастильних матеріалів, все більш важливим стає питання розробки більш ефективних енергетичних установок. Для підвищення економічності авіаційних двигунів необхідною умовою, крім застосування новітніх конструкторських рішень, є підвищення температури згоряння палива і, як наслідок, підвищення температури газу на вході в турбіну. Це призводить до підвищення екстремальності умов роботи робочих лопаток турбіни, зокрема — підвищується температура, швидкість зміни температур (термоудар), вібраційне навантаження, зростає зношування. Отже, потрібні нові матеріали, які б задовольняли підвищені вимоги.

У той час, як промислові лопаткові сплави на основі нікелю (наприклад, ЖС-32 тощо) володіють достатньою об'ємною міцністю, поверхнева міцність їх недостатня. За умов контактної силового і термічного навантаження [1] в поверхневому шарі цих матеріалів відбувається збіднення легуючими елементами в результаті їх окиснення, відбувається процес руйнування робочих поверхонь і вихід лопаток з ладу, а отже, — і всього двигуна, виникає необхідність ремонту.

Тому, при загальній тенденції до зростання міжремонтних і загальнотехнічних ресурсів ставиться завдання подальшого підвищення межі допустимих навантажень і температур експлуатації лопаток, поліпшення їх триботехнічних характеристик.

Аналіз останніх досліджень. Значних результатів у вирішенні цієї проблеми вдалось досягти завдяки впровадженню у виробництво спла-

ву ХТН-61 на основі кобальту [2]. Це дало змогу підвищити ресурс двигуна Д18-Т до 12000 год при використанні сплаву під час виготовлення лопаток і до 60 000 год при їх ремонті [3]. Проте його жаростійкість невисока. Це означає, що він володіє запасом зносостійкості, котрий можна реалізувати шляхом підвищення стійкості до окиснення. Таким вимогам відповідає новий сплав ХТН-62[4].

Як відомо, одним з найважливіших факторів, що визначають опір матеріалів зношуванню, є їх структура, а також властивості, взаємне розташування, кількісне співвідношення і характер взаємодії окремих складових структури [5; 6]. Велике значення мають процеси, що протікають на поверхнях тертя матеріалів. Як приклад оберемо один з відомих способів підвищення трибологічних характеристик сплавів через реалізацію принципу Шарпі–Бочвара, що вказує на необхідність одержання гетерогенної за розподілом і механічними характеристиками структури, що складається з м'якої пластичної основи з розташованими в ній твердими включеннями. Для роботи при високих температурах матриця, як і наповнювач, повинна додатково мати високу жаростійкість. У цій роботі пропонується використовувати як матеріал для поверхневого зміцнення робочих поверхонь бандажних полиць ГТД порошкового сплаву з використанням зв'язків легovanого кобальту і карбиду титану як наповнювача.

Завданням дослідження — знайти такий матеріал, котрий за підвищеної робочої температури мав би вищі значення зносостійкості, ніж базовий сплав ХТН-62.

Склад композиційних порошкових і ливарних сплавів наведено в таблиці.

Склад композиційних сплавів

№ з/п	Co, %	TiC, %, об.	NbC, %, об.	Твердість, HRC	Пористість, %	Тип сплаву
-------	-------	-------------	-------------	----------------	---------------	------------

1*	80	—	20	42	0	Ливарний
2	70	30	—	46	0	Ливарний
3	70	30	—	45	25	Порошковий
4	50	50	—	57	28	Порошковий
5	50	50	—	63	3,1	Порошковий

Примітка: *— сплав ХТН-62. Кобальтова матриця сплавів 2—5 за складом відповідає матриці сплаву ХТН-62.

Порошкові сплави були виготовлені методом гарячого пресування за таких умов:

Температура пресування 1300—1400 °С

Тиск 3—5 кН

Час витримування 10—20 хв

Методика експерименту. З метою оцінки зносостійкості використовувалась установка МФК-1. Для забезпечення температурного режиму вона

додатково обладнана кільцевою електричною піччю, термopарою та міліамперметром.

Робоча пара (рис. 1) являє собою рухомий зразок з кільцевим виточенням, до якого за допомогою високотемпературного припою кріпиться втулка, що притискається до нерухомого зразка. Нерухомий зразок виконано аналогічним способом.

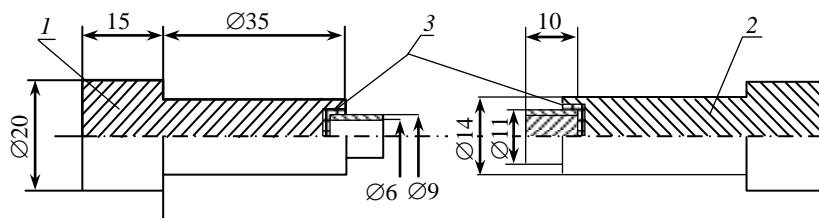


Рис. 1. Зразки для випробування на фретинг-корозію:
1 — рухомий; 2 — нерухомий; 3 — припій

Після випробування вимірювали середній лінійний знос зразків за допомогою оптиметра.

Установка дає змогу проводити дослідження фретинг-корозії в діапазоні частот 10—30 Гц за нормального тиску до 40 МПа і при амплітудах вібропереміщення 0,001—2,5 мм. Установлення величини переміщення рухомого зразка щодо нерухомого виконується за допомогою регульованого ексцентрика. Точне підстроювання амплітуди ковзання в межах 0—0,015 мм регулюються спеціальним гвинтом. Випробування проводились в однойменних парах за таких умов віброциклічного навантаження:

питоме контактне навантаження — $P = 30$ МПа;

амплітуда відносного переміщення зразків — $A = 120$ мкм;

частота коливань — $\nu = 30$ Гц;

база випробувань — $2 \cdot 10^6$ і $5 \cdot 10^6$ цикл;

температура оточуючого середовища — 20 °С і 650 °С.

Для визначення величини зношування згідно з ДСТУ 23.211-80 за формулою

$$J = \frac{\sum_{i=1}^j h_j}{2AN}$$

визначали інтенсивність зношування: де h — лінійний знос; A — амплітуда; N — кількість циклів вібронавантаження.

Результати дослідження подано на рис. 2.

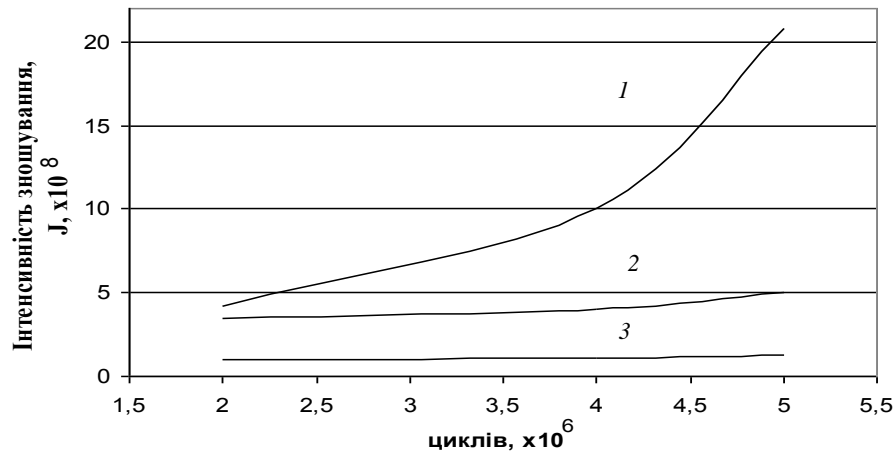


Рис. 2. Результати випробувань сплавів в умовах високотемпературного фретингу:
1 — сплав 1; 2 — сплав 2; 3 — сплав 5

Під час випробувань не вдалось оцінити зносостійкість композиційний порошкових сплавів з високою пористістю (3 і 4). Уже на початковому етапі експерименту спостерігались коливання сили тертя в межах 15—20 % з частотою в 8—10 с. Через $2 \cdot 10^6$ циклів спостерігалось руйнування рухомих зразків на декілька частин, а також відокремлення нерухомого зразка від основи паралельно лінії припою. Це пояснюється недостатньою здатністю пористого матеріалу релаксувати напруження.

Внаслідок цього в приповерхневому шарі формується мережа тріщин, відбувається їх накопичення і переростання в магістральні.

Базовий литий сплав 1 у процесі тертя за кімнатної температури схильний до утворення стружки (рис. 3). На його поверхні утворюється плівка оксидів, котра швидко руйнується. При цьому оголюються значні за площею ділянки металу, котрі у свою чергу швидко зношуються.

Аналогічно себе поводить і сплав 2, хоча вищий вміст карбіду титану в матриці забезпечує значно кращі триботехнічні характеристики. В обох випадках порушуються умови утворення і стійкості вторинних структур, що викликає руйнування поверхневих шарів основного матеріалу.

Сплав 5, за результатами випробувань, володіє найвищою зносостійкістю. Це пояснюється підвищеним вмістом карбідів і низькою пористістю, що запобігає поширенню втомних тріщин всередину матеріалу.

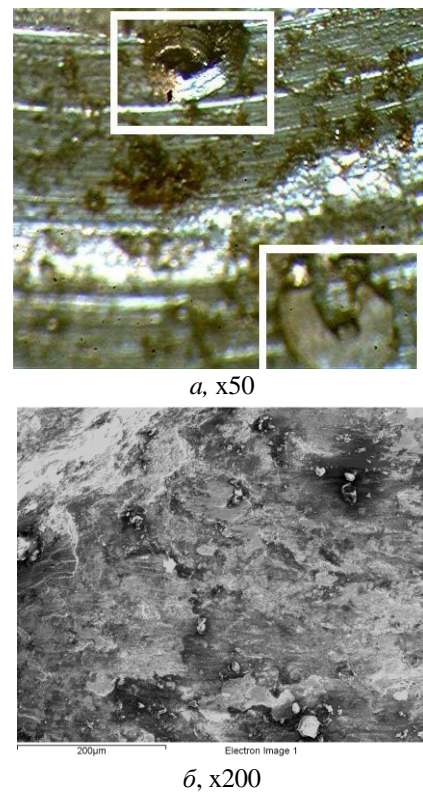
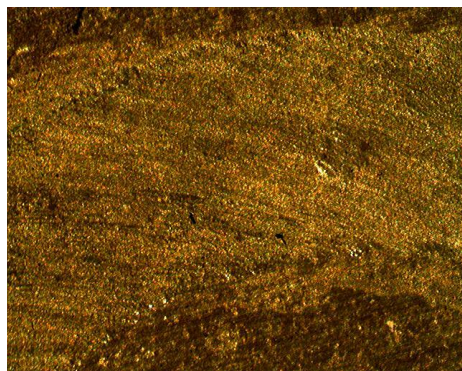


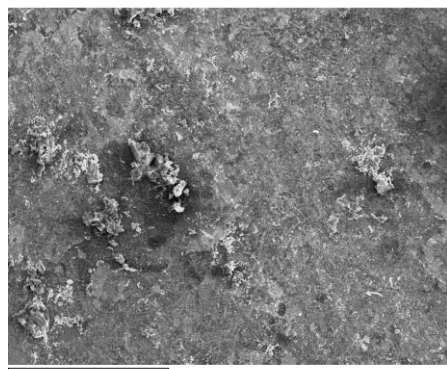
Рис. 3. Топографія поверхні тертя сплаву 1 після випробувань:
а — утворення стружки ($2 \cdot 10^6$ циклів, $t = 20^\circ\text{C}$);
б — інтенсивне руйнування оксидної плівки ($5 \cdot 10^6$ циклів $t = 650^\circ\text{C}$)

Як відомо [7], структурно неоднорідний матеріал зношується в парах тертя як одне ціле тому, що в процесі тертя відбувається перерозподіл питомого навантаження: воно збільшується для більш зносостійких включень і зменшується для менш зносостійких. Тому частинки карбіду титану, розміщуючись на ділянках фактичного контакту, запобігають при цьому руйнуванню захисних оксидних плівок.

Крім того, ці плівки мають щільну структуру і бездефектну поверхню (рис. 4) і тому зношування має рівномірний характер.



а, x30



б, x200

Рис. 4. Топографія поверхні сплаву 5 після випробувань:

а — ($2 \cdot 10^6$ циклів, $t = 20$ °C); б — ($5 \cdot 10^6$ циклів $t = 650$ °C)

Це забезпечує матеріалу зниження інтенсивності дифузії кисню в глибину, і як наслідок — підвищується жаростійкість. Усі ці умови забезпечують стабілізацію процесу зношування і високу зносостійкість сплаву. Очевидно, що цей матеріал працює в такому діапазоні навантажень і швидкостей вібропереміщення, при котрому в зоні контакту утворюються структури, що найбільш ефективно розсіюють введену в трибосистему енергію.

Висновки

1. Високопористі сплави не витримують режиму навантаження і руйнуються внаслідок утомного руйнування вже на початковому етапі випробування.

2. Сплави з низьким вмістом карбідів формують крихку оксидну плівку, яка швидко руйну-

ється і оголює ділянки чистого металу, що призводить до підвищеного зношування. Крім того, вони схильні до утворення стружки за низьких температур.

3. Порошковий сплав з високим вмістом карбідів утворює щільну оксидну плівку, яка захищає поверхню від впливу окислювального середовища.

Карбідна фаза, розташовуючись на ділянках фактичного контакту, сприймає на себе більшу частину навантаження запобігаючи при цьому руйнуванню оксидної плівки.

З огляду на його високу зносостійкість як за підвищених, так і кімнатних температур, а також на рівномірність зношування, цей сплав є перспективним для подальших досліджень і може бути використаним як матеріал для напаявання при відновленні контактних поверхонь бандажних полиць робочих лопаток турбін ГТД, а також під час їх виготовлення.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Несущая* способность лопаток газовых турбин при нестационарном тепловом и силовом воздействии / [Г. И. Третьяченко, С. В. Кравчук, Р. И. Курят, А. П. Волощенко]. — К. : Наук. думка, 1975. — 295 с.
2. *Пат. ІА 8240А* України, с22с19/07. Сплав на основі кобальту / А. К. Шурин, Г. П. Дмитрієва, Т. С. Черепова, Н. В. Андрейченко [та ін.]. — № 93006979, опубл. 29.03.96. Бюл. № 1.
3. *Восстановление* работоспособности ГТД с применением новых технологий и материалов / [В. А. Леонтьев, С. Д. Зиличихис, Э. В. Кондратюк, В. Е. Замковой] // Вестник двигателестроения. — № 4. — 2006. — С. 99—103.
4. *Композиційні* сплави для зміцнення контактних поверхонь бандажних полиць газотурбінних двигунів / [О. І. Духота, М. В. Кіндрачук, О. В. Тісов, Т. С. Черепова] // Проблеми трибології. — № 4. — 2010. — С. 101—104.
5. *Поверхностная* прочность материалов при трении / под ред. Б. И. Костецкого. — К. : Техника, 1976. — 291 с.
6. *Костецкий Б. И.* Структурно-энергетическая приспособляемость материалов при трении / Б. И. Костецкий] // Трение и износ. — 1985. — Т. 6, № 2. — С. 201—212.
7. *Присевок А.Ф.* Исследование механизма разрушения сплавов при их трении о закреплённые абразивные зёрна / А. Ф. Присевок, Г. М. Яковлев, В. И. Даукнис // Прогрессивная технология машиностроения. — Минск : Высшая школа, 1971. — С. 120—126.

Стаття надійшла до редакції 22.12.2010.