

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ КОМПОЗИЦІЙНИХ СПЛАВІВ НА ОСНОВІ КОБАЛЬТУ В УМОВАХ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ФРЕТИНГУ

Національний авіаційний університет

Розглянуто завдання підвищення ресурсу робочих лопаток турбін авіаційних двигунів. Проведено випробування деяких композиційних (порошкових і литих) сплавів на основі кобальту в умовах високотемпературного фретингу. Пояснено механізм високої зносостійкості малопористих порошкових сплавів з високим умістом наповнювача.

Актуальність теми. Умови роботи робочих лопаток турбін сучасних авіаційних газотурбінних двигунів (ГТД) характеризуються високим рівнем діючих статичних навантажень, широким діапазоном зміни робочих температур, високими швидкостями обертання, і як наслідок – високими вібронавантаженнями. З огляду на загальну тенденцію до зростання міжремонтних і загальнотехнічних ресурсів дедалі більшої значущості набуває підвищення тягових характеристик ГТД, що зумовлює збільшення межі допустимих навантажень і температур експлуатації лопаток.

Для зниження вібронавантажень лопатки бандажуються у верхній частині по зигзагоподібних поверхнях. Унаслідок вібропереміщень відбувається інтенсивне зношування контактних поверхонь полиць як результат розвитку фретинг-корозії, що призводить до підвищеного зношування і передчасного виходу деталей з ладу [1]. Крім того, руйнуванню внаслідок виникнення циклічних переміщень у номінально нерухомому з'єднанні піддаються і хвостовики лопаток.

Завданням дослідження було знайти такий матеріал, котрий за підвищеної робочої температури мав би вищі значення зносостійкості, ніж базовий сплав (сплав №1) табл. 1.

Як відомо, одними з найважливіших факторів, що визначають опір матеріалів зношуванню, є їх структура,

властивості, а також взаємне розташування, кількісне співвідношення та характер взаємодії окремих складових структури [2]. Велике значення мають процеси, що перебігають на поверхнях тертя матеріалів. Як приклад можна навести один з відомих способів підвищення трибологічних характеристик сплавів через реалізацію принципу Шарпі–Бочвара, що полягає в одержанні гетерогенної за розподілом і механічними характеристиками структури, що являє собою м'яку пластичну основу з наявними в ній твердих вкраплень. Саме такій умові відповідає структура усіх композиційних (литих і порошкових) сплавів, що випробовувались. Використання порошкових сплавів з високим умістом карбідів пояснюється неможливістю отримання литих сплавів такого складу через недостатню змочуваність TiC кобальтом.

Таблиця 1

Склад композиційних сплавів

№	Co, %	TiC, %	NbC, %	Пористість, %	Тип сплаву
1	80	----	20	----	Литий
2	70	30	----	----	Литий
3	50	50	----	3,1	Порошковий
4	70	30	----	25	Порошковий
5	50	50	----	28	Порошковий

Методика експерименту. Для триботехнічних випробувань використовували установку МФК -1. Для забезпечення температурного режиму її додатково обладнали кільцевою електричною піччю, термопарою та міліамперметром (рис. 1).

Робоча пара (рис. 2) 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.

Після випробування вимірювали середній лінійний знос зразків.

Установка дозволяє проводити дослідження фретинг-корозії в діапазоні частот 10 – 30 Гц за нормального тиску до 40 МПа та амплітуд вібропереміщення 0,001 – 2,5 мм.

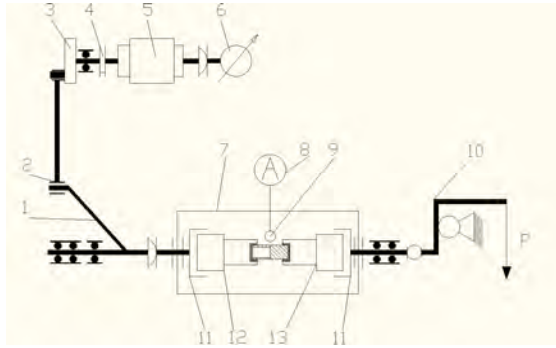


Рис. 1. Принципова схема установки МФК-1: 1 – горизонтальный шатун; 2 – вертикальный шатун; 3 – регулируемый эксцентрик; 4 – муфта; 5 – электродвигун; 6 – лічильник кількості циклів; 7 – електрична піч; 8 – міліамперметр; 9 – термопара; 10 – важільний навантажувальний пристрій; 11 – цанга; 12 – рухомий зразок; 13 – нерухомий зразок

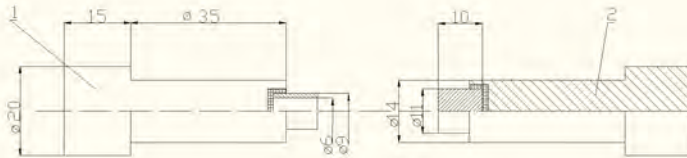


Рис. 2. Зразки для випробувань на фретинг-корозію:
1 – рухомий; 2 – нерухомий.

Нагрівання зразків дозволяє проводити дослідження за температури до $800\text{ }^{\circ}\text{C}$. Для випробувань зразки встановлюються в цангах і установка навантажується. Таким чином, зразки самоцентруються, після чого відбувається їх остаточна фіксація. Задане навантаження на зразки здійснюється за допомогою важільного пристрою, що дозволяє створювати більші питомі навантаження.

Випробування проводили в однойменних парах за таких умов віброциклічного навантаження: питоме контактне навантаження – $P = 30\text{ МПа}$; амплітуда відносного переміщення зразків – $A = 120\text{ мкм}$; частота коливань – $\nu = 30\text{ Гц}$; база випробувань – $5 \cdot 10^6$ цикл. температура навколишнього середовища – $650\text{ }^{\circ}\text{C}$. Результати наведено на рис. 3.

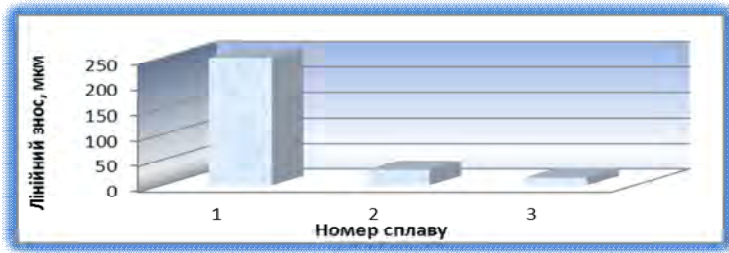


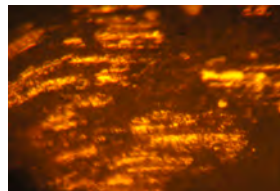
Рис. 3. Результати випробувань: сплав №1 – 250 мкм, сплав №2 – 30 мкм, сплав №3 – 15 мкм

Під час випробувань не вдалось оцінити зносостійкість композиційний порошкових сплавів з високою пористістю (№4 і №5). Вже 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 зразка від основи паралельно лінії припою. Це пояснюється недостатньою здатністю пористого матеріалу релаксувати напруження. Внаслідок цього в приповерхневому шарі формується сітка тріщин.

Базовий литий сплав №1 у процесі тертя схильний до утворення стружки (рис. 4). На його поверхні утворюється тонка плівка оксидів, котра швидко руйнується. При цьому оголюються великі за площею ділянки металу, які, 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, унаслідок чого руйнуються поверхневі шари основного матеріалу.



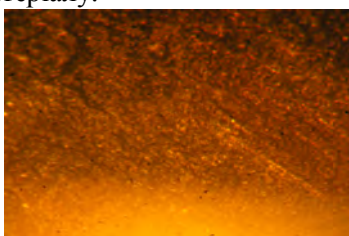
a, $\times 30$



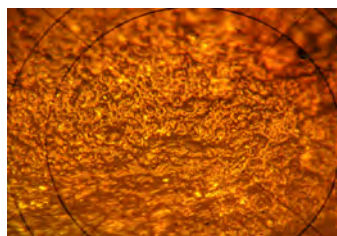
b, $\times 500$

Рис. 4. Топографія поверхні сплаву №1 після випробувань: *a* – утворення стружки ($2 \cdot 10^6$ циклів); *b* – оксидна плівка не суцільна ($5 \cdot 10^6$ циклів)

Сплав №3, за результатами випробувань, має найвищу зносостійкість. Це пояснюється підвищеним умістом карбідів і низькою пористістю, що запобігає поширенню втомних тріщин всередину матеріалу. Як відомо [3], структурно неоднорідний матеріал зношується в парах тертя як одне ціле, оскільки в процесі тертя відбувається перерозподіл питомого навантаження: воно збільшується для більш зносостійких включень і зменшується для менш зносостійких. Тому частинки TiC, розміщуючись на ділянках фактичного контакту, запобігають при цьому руйнуванню захисних оксидних плівок. Крім того, ці плівки мають масивну текстуру і пористу поверхню (рис. 5). У цих парах на початковому етапі тертя відбувається нагромадження продуктів зношування, котрі відіграють роль твердого мастила. Всі ці умови забезпечують стабілізацію процесу зношування і високу зносостійкість матеріалу.



a, ×30



b, ×500

Рис. 5. Топографія поверхні сплаву №3 після випробувань: *a* – зношування має рівномірний характер ($2 \cdot 10^6$ циклів); *b* – пориста поверхня оксидної плівки ($5 \cdot 10^6$ циклів)

Висновки:

1. Високопористі сплави руйнуються внаслідок утомного руйнування вже на початковому етапі випробування.

2. Сплави з низьким умістом карбідів формують тонку оксидну плівку, яка швидко руйнується і оголює ділянки чистого металу, що призводить до підвищеного зношування.

3. Порошковий сплав №3 утворює пористу оксидну плівку, яка акумулює продукти зношування, сприяючи стабілізації процесу тертя. Карбідна фаза сприймає на себе більшу частину навантаження, запобігаючи при цьому руйнуванню оксидної плівки. Цей сплав може бути використаним в якості матеріалу при

відновленні напаяванням контактних поверхонь лопаток турбін ГТД, а також під час їх виготовлення.

Список літератури

1. *Духота О.І., Черепова Т.С., Тісов О.В., Вовк В.І.* Оцінка зносостійкості жароміцних композиційних сплавів в умовах високотемпературного фретингу// Сучасні проблеми трибології. Тези доповідей МНТК.–К.: ІВЦ АЛКОН.–2010. – С. 146.

2. *Поверхностная* прочность материалов при трении / Под ред. Б.И. Костецкого. – К.: Техника, 1976. – 291с.

3. *Присевок А.Ф., Яковлев Г.М., Даукнис В.И.* Исследование механизма разрушения сплавов при их трении о закреплённые абразивные зёрна // Прогрессивная технология машиностроения. – Минск: Высшая школа, 1971. – С. 120–126.

Духота О.И., Тісов А.В. **Исследование износостойкости композиционных сплавов на основе кобальта в условиях высокотемпературного фреттинга** // Проблемы тертя та зношування: Наук.-техн. зб. – К.: Вид-во НАУ «НАУ-друк», 2010. – Вип. 53. – С.195–200.

В работе решается задача повышения ресурса рабочих лопаток турбин авиационных двигателей. Проведены испытания ряда композиционных (порошковых и литых) сплавов на основе кобальта в условиях высокотемпературного фреттинга. Объяснен механизм высокой износостойкости малопористых порошковых сплавов с высоким содержанием наполнителя.

Рис. 5, табл.1, список лит.: 3 наим.

Investigation of heat-proof composite alloys wear properties at conditions of high temperature fretting – corrosion

Present work solves a task of aviation engines rotor blades durability increase. Tribotechnical tests of a set of composite powder and cast alloys at conditions of high temperature fretting-corrosion have been conducted. Also a mechanism of low-porosity powder alloys with high content of filler agent is explained.

Стаття надійшла до редакції 26.05.10