

УДК 621.891

Кіндрачук М. В., Тісов О. В., Духота О. І.
Національний авіаційний університет. Україна, м. Київ

ФОРМУВАННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ БАНДАЖНИХ ПОЛИЦЬ ЛОПАТОК ТУРБІН ГТД КОМПОЗИЦІЙНИМИ ПОРОШКОВИМИ СПЛАВАМИ СИСТЕМИ (Co-Cr-Fe-Al)–TiC

Анотація

Аргументовано необхідність розробки нових зносостійких композиційних порошкових сплавів системи (Co-Cr-Fe-Al) – TiC. Експериментальними дослідженнями встановлено високу зносостійкість таких матеріалів.

Abstract

The paper focuses on necessity of new wear resistant composite powder alloys of (Co-Cr-Fe-Al) – TiC system elaboration. High wear and heat resistance of these materials is proved experimentally.

Актуальність дослідження

Авіаційний двигун є складною енергетичною установкою, яка складається з великої кількості систем

і вузлів. Від їх надійної роботи залежать експлуатаційні характеристики ГТД, його довговічність і надійність. Ресурс ГТД в цілому обмежується ресурсом найбільш навантаженого і важливого вузла, яким безумовно, є газова турбіна, а зокрема – робочі лопатки. Високі швидкості обертання, температура, зміна режимів роботи і неоднорідність газового потоку спричиняють високий рівень вібрацій, для зменшення яких робочі лопатки турбіни бандажуються у верхній частині. Енергія коливань демпфується за рахунок сили тертя, яка виникає на контактних поверхнях бандажних полиць. В результаті комплексного температурно-силового впливу, а також дії хімічно активного середовища і швидкісного газового потоку ці поверхні інтенсивно зношуються, що призводить до їх передчасного виходу з ладу, отже – і двигуна [1].

Комплексне вирішення актуальних питань авіаційного двигунобудування можливе лише за рахунок



створення новітніх зносостійких високотемпературних матеріалів, які матимуть високу температуру плавлення, жаростійкість і необхідний комплекс механічних характеристик. Однак, нікелеві сплави, що використовуються для виготовлення лопаток турбін, мають низьку зносостійкість. Для підвищення зносостійкості контактних поверхонь бандажних полиць робочих лопаток турбін ГТД напаяють пластини зносостійкого кобальтового сплаву ХТН-61 високотемпературними припоями [2].

Перспективними матеріалами для напаявання можуть бути сплави на основі кобальту, зміцнені тугоплавкими сполуками. Для підвищення жаростійкості кобальт додатково легується хромом (22–24 % мас), алюмінієм і залізом (по 3,5–4 % мас). На основі аналізу властивостей тугоплавких сполук, що використовуються в промисловості, виходячи із засад високих фізико-механічних властивостей, в якості наповнювача обрано карбід титану TiC. Таким чином, для поверхневого зміцнення деталей гарячої частини ГТД пропонується порошковий композиційний сплав системи (Co-Cr-Fe-Al)–TiC.

В роботі [3] показано, що найнижчий рівень дотичних напружень в такому матеріалі (при його навантаженні силами тертя) виникатиме при вмісті карбідної фази 40–50 % об., при цьому його зносостійкість більше ніж в 10 разів перевищує зносостійкість сплаву ХТН-62, основою для створення якого використано сплав ХТН-61 [4].

Методика дослідження

Для оцінки зносостійкості порошкових сплавів використовувалась установка МФК-1, додатково обладнана кільцевою електричною піччю для імітації умов високотемпературної віброконтактної взаємодії [5]. Випробування проводились в однойменних парах при наступних умовах віброциклічного на-

вантаження: питоме контактне навантаження – $P = 30$ МПа; амплітуда відносного переміщення зразків – $A = 120$ мкм, частота коливань – 30 Гц, база випробувань – $5 \cdot 10^6$ цикл., температура – 650 °С.

Зразки для металографічних досліджень виготовляли за стандартною методикою на високошвидкісних кругах з алмазними пастами різної дисперсності. Цифрове зображення отримали за допомогою електронного мікроскопа – мікроаналізатора РЕМ-106И.

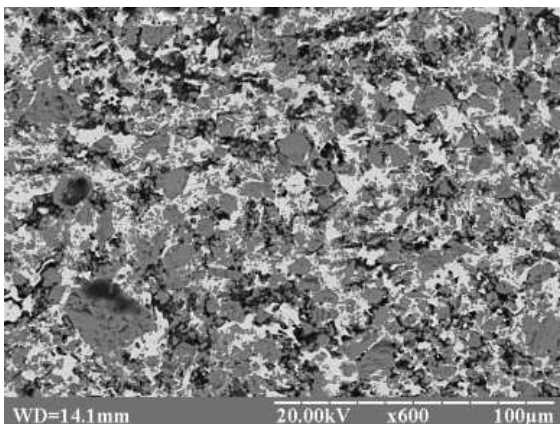
Дослідження впливу пористості на зносостійкість і жаростійкість проводили на зразках однакового складу, що містили карбід титану в об'ємному співвідношенні до кобальтової матриці 50/50, але різну пористість (сплави П-76 – 3,1 %, П-87 – 10,4 %, П-66 – 28 %).

Дослідження жаростійкості композиційних сплавів проводили при температурі 1100 °С, зважування зразків проводили через кожних 10 годин відпалу на аналітичних терезах.

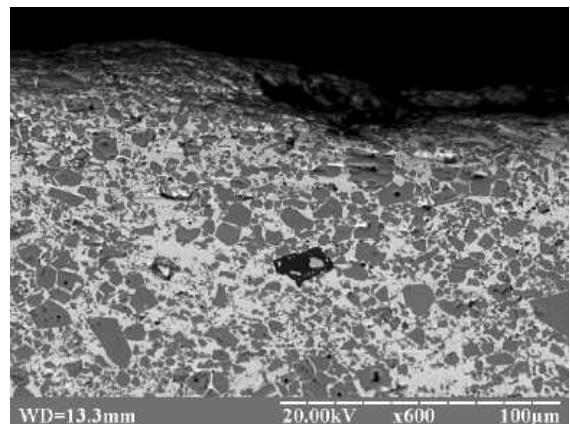
Результати досліджень

Для подальшого вдосконалення сплавів важливо встановити вплив пористості на їх зносо- і жаростійкість.

Мікроструктура пористого сплаву П-66 представлена на рис. 1, а, і являє собою суміш карбиду титану і кобальтової матриці. На основі аналізу структури встановлено, що одночасно з нерівномірним розподілом наповнювача присутній також нерівномірний розподіл пор, причому останні суттєво відрізняються за розмірами. Це може бути зумовлено неоптимальними параметрами технологічного процесу гарячого пресування вихідних сумішей. Розміри порожнин досягають 40–60 мкм. Така структура порушує однорідність складу і рівномірність розподілу фізико-механічних характеристик сплаву і не сприяє формуванню високих трибологічних властивостей.



а



б

Рис. 1: а – сплав П-66 (50 % об. TiC), $\times 600$; б – сплав П-76, $\times 300$ (50 % об. TiC)

Мікроструктура сплаву П-76 представлена на рис. 1, б. Розподіл частинок зміцнюючої фази є рівномірним. Присутність пор практично не викликає структурної неоднорідності матеріалу, так як суттєвої дисперсії їх розмірів не спостерігається. Вимірювання показали, що їх розмір (1–5 мкм) не перевищує середній розмір зерен ТіС або значно менший за них.

На рис. 2, а приведена залежність жаростійкості цих сплавів від пористості. Видно, що із зростанням останньої стійкість до окиснення зменшується. Ця характеристика залежить від властивостей матриці, а також — від стану поверхні. У високопористих сплавах проникнення кисню в основний матеріал полегшена. Завдяки пустотам він дифундує на значну глибину, в результаті чого жаростійкість матеріалу знижується.

Зношування композиційних дисперсно зміцнених сплавів в умовах високотемпературної віброконтактної взаємодії також залежить від структури і властивостей зміцнюючої фази, рівномірності її розподілу в структурі, тощо. Для матеріалів одного хімічного і кількісного складу, що, виготовлені методами порошкової металургії, притаманні суттєві відмінності в структурі, які проявляються у наявності пористості. Пори переважно являють собою локальні скупчення зерен карбіду титану, між якими відсутня матрична фаза. Такі порожнини суттєво впливають на розподіл напружень, що виникають в матеріалі під дією сил тертя.

Трибологічні дослідження показали, що зростання пористості в матеріалі призводить до зростання інтенсивності зношування [3] (рис. 2, б).

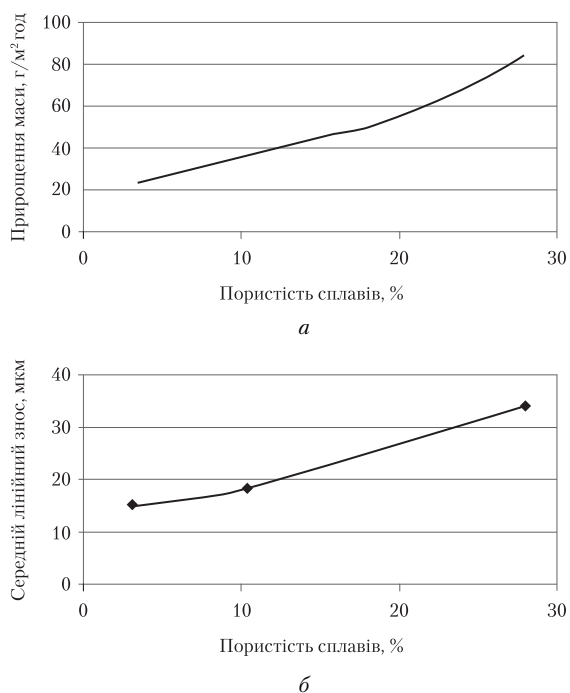


Рис. 2. Залежність жаростійкості (а) і середнього лінійного зносу (б) порошкових сплавів від пористості

Це зумовлено тим, що високопористі матеріали не можуть ефективно релаксувати напруження, які виникають внаслідок дії сил тертя. В пористому матеріалі прошарки кобальтової матриці під дією знакозмінного навантаження піддаються деформаціям, величина яких, очевидно, зростає із зростанням пористості. Це сприяє накопиченню втомного пошкодження і утворенню тріщин, причому не завжди на межі розподілу карбідної і матричної фаз. Таким чином, зношування пористого матеріалу є більш інтенсивним, ніж малопористого. На рис. 3 приведено характер руйнування сплаву П-66 в результаті накопичення втомного пошкодження і росту тріщин.

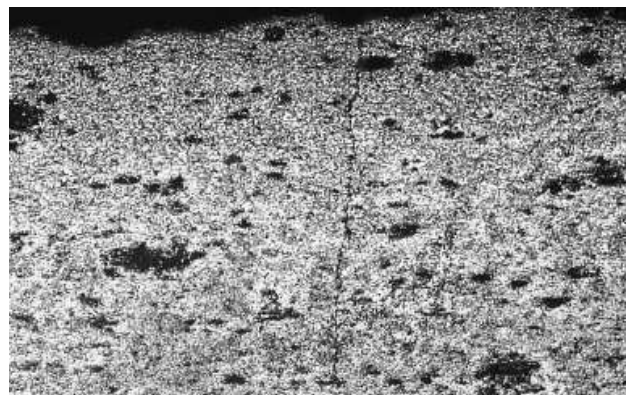


Рис. 3. Руйнування пористого сплаву П-66

Вона проходить всередину матеріалу від поверхні по границям пор, що ще раз наочно ілюструє вплив їх кількості і величини на здатність такого сплаву протидіяти зовнішньому навантаженню, спричиненого дією сил тертя.

Висновки

Трибологічні випробування в умовах високотемпературної віброконтактної взаємодії показали, що композиційні порошкові сплави системи (Co-Cr-Fe-Al)—ТіС із високим вмістом наповнювача — до 50% об. і низькою пористістю мають високу зносостійкість. Встановлено, що зменшення пористості сприяє підвищенню жаростійкості таких сплавів. Перерахований комплекс властивостей робить їх перспективними для використання в якості матеріалу для напаювання на контактні поверхні бандажних полиць робочих лопаток турбін ГТД.

Література

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



2. *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.

3. *Композиційні* сплави для зміцнення контактних поверхонь бандажних полиць робочих лопаток газотурбінних двигунів / [М. В. Кіндрачук, О. І. Духота, Т. С. Черепова, О. В. Тісов.] // Проблеми трибології: Міжнародний науковий журнал — 2010. — С. 101–104.

4. *Шурін А. К.* Розробка сплавів для зміцнення бандажних полиць лопаток газотурбінних двигунів / [А. К. Шурін, Т. С. Черепова] // Зб. «Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин». — К.: ІЕЗ ім. Патона. 2009. — С. 641–646.

5. *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.