

Дослідження властивостей композиційних сплавів на основі кобальту

М. В. Кіндрачук, доктор технічних наук, професор

О. І. Духота, кандидат технічних наук

О. В. Тісов

Національний авіаційний університет, Київ

*Досліджено властивості композиційних порошкових сплавів на основі кобальту. Показано вплив пористості на їх зносостійкість та жаростійкість.**

Застосування передових технологій і теоретичних розробок в галузі авіаційного двигунобудування завжди вимагало нових матеріалів з високими показниками поверхневої і об'ємної міцності, стійкості проти дії високих температур і агресивного окислюючого середовища. Такі матеріали повинні успішно, без значних змін початкової форми, працювати в умовах контактної-силової взаємодії. Відомо, що для підвищення тягових характеристик двигуна необхідно збільшувати температуру газу на виході з камери згоряння. В таких умовах матеріал повинен мати достатню міцність як при температурах початку роботи, так і при максимальних температурах експлуатації.

Газотурбінний двигун є складною енергетичною установкою з великою кількістю взаємодіючих деталей і механізмів, від спільної роботи яких залежить його надійність і довговічність. Проте, ці елементи відрізняються за конструкцією, матеріалами, працюють за різних умов температурно-силового навантаження, тому мають різний строк служби. В загальному напрацюванні двигуна до ремонту визначальну роль відіграє ресурс найбільш навантажених його частин. В турбінах авіадвигунів такими елементами є робочі лопатки, зокрема, їх бандажні полиці, що використовуються для зменшення вібраційних навантажень. Це трибосполучення працює в умовах високотемпературного фретингу [1, 2], тому для підвищення ресурсу двигуна однією з найбільш актуальних задач є забезпечення його зносостійкості [2, 3].

Для підвищення ресурсу контактних поверхонь бандажних полиць робочих лопаток турбін використовували в різний час сплави на основі заліза та нікелю [1]. Це ливарні сплави, в яких зміцнююча фаза розподілена в більш м'якій і пластичній матриці. Особливістю цих матеріалів є те, що формування зносостійкої фази залежить від збалансованості вмісту легуючих елементів і кількість її є обмеженою. В нікелевих сплавах [4] під дією навантаження та високошвидкісного газового потоку відбувається вигорання легуючих елементів, внаслідок чого суттєво зменшується кількість зміцнюючої γ' -фази, знижується їх твердість, жаростійкість і як наслідок – зносостійкість, деталь швидше виходить з ладу. Тому теплова стабільність, плавна зміна властивостей зі зростанням температури, відсутність вибіркового окислення є важливою вимогою до нових сплавів для лопаток.

В останні роки проводяться роботи з розробки і впровадження у виробництво та ремонт ГТД нових жароміцних сплавів на основі кобальту, які з тугоплавкими

*В роботі брали участь Т. С. Черепова (ІМФ НАНУ), О. В. Башта (НАУ).

карбідами (зокрема, титану та ніобію) утворюють евтектику, що забезпечує об'ємне зміцнення матеріалу з одночасним покращенням зносостійкості. Одним із таких сплавів є ХТН-61, котрий пройшов випробування і успішно використовується для виготовлення і ремонту лопаток [5]. Завдяки виключенню зі складу сплаву молібдену та підвищенню вмісту алюмінію вдалося досягти значного зростання жаростійкості (рис. 1) при збереженні показників зносостійкості.

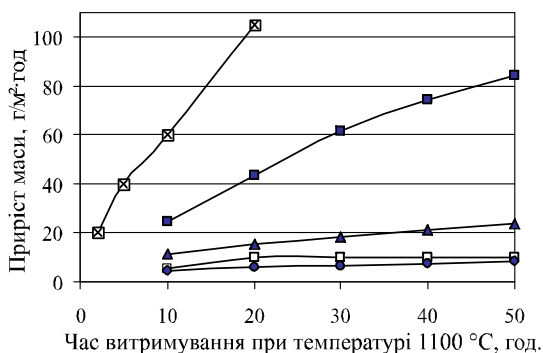


Рис. 1. Жаростійкість порошкових і ливарних композиційних сплавів на основі кобальту.
 —□— ХТН-61, —□— ХТН-62, —■— П-70А,
 —▲— П-65, —●— П-66Л.

Новий сплав отримав марку ХТН-62. В сплавах ХТН-61 і ХТН-62 зміцнюючою фазою служить карбід ніобію, (об'ємний вміст 20 %). Збільшення об'ємного вмісту карбіду дало б змогу підвищити зносостійкість, проте методом лиття цього досягти неможливо, оскільки значно зростає інтервал плавлення сплаву, з'являються великі карбідні кристали, що приводить до зниження його технологічності. Застосування методу електродугової плавки та шихтування замість карбіду ніобію дрібнозернистого порошку карбіду титану дало змогу підвищити вміст карбідної фази до 30 об. % (сплав П-66Л). Як показали дослідження, такий сплав має достатньо високу жаростійкість (рис. 1) і дрібнозернисту карбідну фазу в структурі. Для подальшого збільшення кількості дисперсних кристалів зміцнюючої фази було вирішено розробити сплави, що виготовляються методами порошкової металургії, зокрема сплави марок П-65, П-70А, які виготовлені методом гарячого пресування і на 50 об. % складаються з карбіду титану та на 50 об. % – із легованої кобальтової матриці. У першого пористість 3,4 %, у другого 28 %. На рис. 2 показано залежність жаростійкості цих сплавів від пористості. Видно, що із зростанням останньої стійкість до окислення зменшується. Ця характеристика залежить від властивостей матриці, а також від стану поверхні. У високопористих сплавах проникнення кисню в основний матеріал полегшено, завдяки пустотам він може проникати на значну глибину. Крім того, хімічному впливу піддаються і внутрішні поверхні пор, тобто збільшується площа взаємодії, в результаті цього жаростійкість матеріалу знижується.

Пористість, крім того, що знижує жаростійкість сплавів, негативно впливає і на їх зносостійкість. Під час випробувань в умовах високотемпературного фретингу [6] виявилось, що високопористі сплави швидко зношуються в порівнянні з низькопористими, схильні до втомного руйнування. На рис. 3 наведено залежність зношування порошкових сплавів з вмістом TiC 50 об. % від пористості.

Таким чином, дослідження жаростійкості порошкових композиційних сплавів на основі кобальту показали негативний вплив пористості. Присутність в структурі розгалуженої мережі пустот сприяє збільшенню площі поверхні, що піддається окисленню. Також, полегшується проникнення кисню в більш глибокі шари матеріалу. Результати триботехнічних випробувань свідчать про негативний вплив пористості на зносостійкість порошкових сплавів. У таких матеріалах порушується рівномірність розподілу фізико-механічних характеристик за об'ємом. У високопористих сплавах утруднена релаксація напружень, що виникають внаслідок дії сил тертя і вони швидко зношуються.

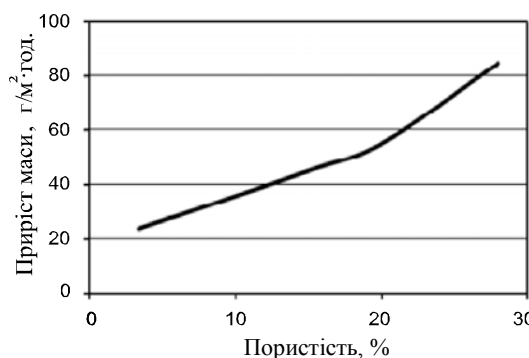


Рис. 2. Залежність жаростійкості порошкових сплавів від пористості ($t = 1100\text{ }^{\circ}\text{C}$, час витримування 50 год.).

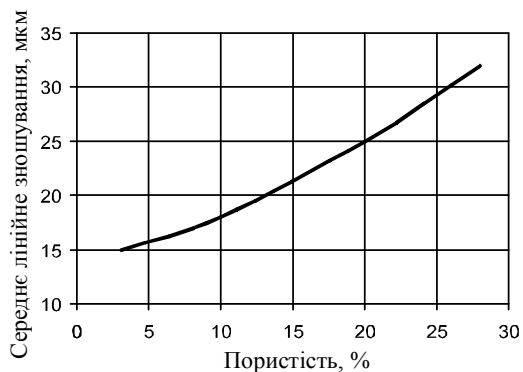


Рис. 3. Залежність зносостійкості порошкових сплавів від пористості ($t = 650\text{ }^{\circ}\text{C}$, амплітуда 120 мкм, база випробувань $5 \cdot 10^6$ циклів).

Ливарні композиційні сплави, на відміну від порошкових, позбавлені такого недоліку, як пористість і мають вищу жаростійкість. Застосування карбіду титану замість карбіду ніобію також підвищує стійкість до окислення.

Література

1. Богуслаев В. А., Ивченко Л. И., Качан А. Я. Контактное взаимодействие сопряженных деталей ГТД. – Запорожье: ОАО «Мотор Сич», 2009. – 328 с.
2. Шевеля В. В., Калда Г. С., Духота О. І. Підвищення фретингостійкості робочих лопаток ГТД. // Сборник трудов 2 Междунар. конф. «Динамика роторных систем». – Каменец-Подольский, 1998. – С. 125 – 128.
3. Ивченко Л. И., Качан А. Я. Изнашивание жаропрочных материалов при вибрациях. // Вестник двигателестроения. – 2008. – № 2. – С. 160 – 163.
4. Третьяченко Г. И., Кравчук С. В., Курият Р. И. Несущая способность лопаток газовых турбин при нестационарном тепловом и силовом воздействии. – Киев: Наук. думка, 1975. – 295 с.
5. Леонтьев В. А., Зиличихис С. Д., Кондратюк Є. В. Восстановление работоспособности ГТД с применением новых технологий и материалов. // Вестник двигателестроения. – 2006. – № 4. – С. 99 – 103.
6. Духота О. І., Кіндрачук М. В., Тісов О. В. Композиційні сплави для зміцнення контактних поверхонь бандажних полиць газотурбінних двигунів. // Проблеми трибології. – 2010. – № 4. – С. 101 – 104.

Одержано 06.05.11

М. В. Киндрачук, А. И. Духота, А. В. Тисов

Исследование свойств композиционных сплавов на основе кобальта

Резюме

В данной работе исследованы свойства композиционных порошковых сплавов на основе кобальта. Показано влияние пористости на их износостойкость и жаростойкость

M. V. Kindrachuk, O. I. Dukhota, O. V. Tisov

Investigation of properties of cobalt-based composite alloys

Summary

The given work investigates the properties of cobalt-based powder composite alloys. The influence of porosity on their wear and heat resistance is shown.