

Жаростійкість ливарних та порошкових сплавів на основі кобальту або нікелю з карбідним зміцненням

Т. С. Черепова, кандидат технічних наук

Г. П. Дмитрієва, кандидат технічних наук

В. К. Носенко, доктор фізико-математичних наук

Інститут металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАН України, Київ

Досліджено характеристики жаростійкості ливарних та порошкових сплавів на основі легуваних кобальту або нікелю, фазою для зміцнення в яких обрано карбід титану. Вміст карбіду був однаковим для ливарних і порошкових сплавів, незалежно від основи – 30 і 38 – 40 % об. Приріст маси, визначений для порошкових сплавів, залежить від їх пористості, а ливарні сплави однакового складу з порошковими суттєво переважають їх за жаростійкістю. Порошкові сплави на основі нікелю переважають за жаростійкістю сплави на основі кобальту.

Створення нових матеріалів авіаційного призначення з необхідними властивостями – актуальне завдання сьогодення. Основною вимогою для матеріалів, що наносяться на контактні поверхні робочих лопаток газотурбінних двигунів, є їх високий опір зношуванню в усьому діапазоні робочих температур – від 20 до 1100 °С [1]. Матеріали, що на цей час застосовують з цією метою – це ливарні евтектичні сплави типу ХТН-61 та ХТН-62 розробки Інституту металофізики НАН України [2, 3]. Подальше підвищення їх зносостійкості можливе при додатковому введенні карбідів, коли сплави стають заевтектичними, але при цьому втрачається їх технологічність – збільшується рідкоплинність, зростає інтервал кристалізації, що призводить до появи великих первинних карбідних кристалів у вигляді дендритів. Тому для досягнення поставленого завдання вирішено застосувати методи порошкової металургії, оскільки це дозволяє ввести в сплав більше карбідної складової, ніж при використанні методів лиття. Важливою вимогою також було досягнення високої їх жаростійкості в інтервалі робочих температур та температури плавлення, що перевищує температуру технологічних операцій дегазації і пайки (1270 °С).

Об'єктом дослідження даної роботи були ливарні заевтектичні сплави систем $\text{Co}_{\text{лег.}} - \text{TiC}$ та $\text{Ni}_{\text{лег.}} - \text{TiC}$ з максимально можливим для виплавки вмістом карбіду на рівні 30 і 38 % об та порошкові сплави, отримані із суміші карбіду титану (30 і 40 % об) із складною зв'язкою $\text{Co}(\text{Ni}) - \text{Cr} - \text{Fe} - \text{Al}$. Мета роботи полягає у визначенні і порівнянні показників жаростійкості обраних об'єктів дослідження для встановлення залежності цієї характеристики від матеріалу основи.

Жаростійкість ливарних сплавів обумовлюється комплексом легування основи сплавів, який було встановлено в роботах [4, 5]. Визначення легуючих добавок з метою підвищення жаростійкості порошкових сплавів на основі кобальту або нікелю проведено по аналогії з ливарними сплавами з урахуванням цих досліджень. Визначальним легуючим елементом є хром, який надає сплавам необхідний опір окисленню в умовах згорання авіаційного палива, а додаткове підвищення жаростійкості зумовлює алюміній. Всі легуючі елементи мають більшу спорідненість до кисню, ніж кобальт чи нікель, тому мають позитивний вплив на стійкість досліджуваних сплавів до окислення. Застосування карбіду титану в якості зміцнюючої фази пов'язано з його високою стійкістю до окислення, яка виділяє його з-поміж інших карбідів тугоплавких металів [6].

Для виготовлення зразків в якості вихідних компонентів використовували достатньо чисті порошки кобальту марки ПК-1У, хрому ПАХ 99Н5, алюмінію ПА-0, заліза ПЖВ1.71 та карбіди відповідних стандартів. Сплави виплавляли в лабораторній дуговій печі в атмосфері чистого аргону, застосовуючи багаторазове перемішування і перевертання зразків. Порошкові сплави отримували методом гарячого пресування сумішей порошків металів та карбіду, дисперсність яких не перевищувала 10 – 20 мкм після розмелу в планетарному млині. Пористість пресованих сплавів визначали методом гідростатичного зважування.

Зразки для визначення жаростійкості поміщали в піч після вимірювання площі їх поверхні і зважування в тиглях з окису алюмінію. Кожен зразок знаходився в окремому тиглі. Нагрівання в електричній печі опору до температури 1100 °С на повітрі контролювали термопарою, загальна витримка становила 50 годин, охолодження разом з піччю. Жаростійкість сплаву визначали за збільшенням ваги зразка після кожних 10 годин відпалу, віднесеного до його площі поверхні. Склад ливарних та порошкових сплавів, які підлягали випробуванню на жаростійкість, наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Склад і пористість досліджених сплавів

Номер зразка	Склад сплавів, % (по масі)							Пористість, %
	TiC, % об.	TiC	Co	Ni	Cr	Al	Fe	
Ливарні сплави								
1	30	19,0	55,5	–	19,6	2,95	2,95	0
2	38	25,0	51,36	–	18,18	2,73	2,73	0
3	30	19,0	–	55,5	19,6	2,95	2,95	0
4	38	25,0	–	51,36	18,18	2,73	2,73	0
Порошкові сплави								
5	30	19,0	55,5	–	19,6	2,95	2,95	3,2
6	40	25,36	50	–	17,7	2,65	2,65	4,2
7	30	19,0	–	55,5	19,6	2,95	2,95	7,1
8	40	25,36	–	50	17,7	2,65	2,65	4,4

Ливарні сплави з вмістом карбідів 30 і 38 % об, трактували як сплави з нульовою пористістю.

Температури фазових перетворень – початок і кінець плавлення, початок і кінець кристалізації, перетворення в твердому стані – визначали за допомогою диференційного термічного аналізу на обладнанні ВДТА-8М.

Температура плавлення ливарних і порошкових сплавів суттєво не відрізнялась. На термічних кривих відсутні додаткові ефекти, які свідчили б про наявність додаткових легкоплавких фаз в сплавах. Зміцнені карбідами сплави на основі кобальту і нікелю не мають фазових перетворень до температури плавлення, яка складає 1300 – 1320 °С, незалежно від основи. Слід відзначити, що порошкові сплави зберігають форму при нагріванні до 1400 °С, що важливо при їх застосування.

Приріст маси зразків під час випробувань на жаростійкість ливарних і порошкових сплавів на основі кобальту і нікелю при 1100 °С на повітрі показано в табл. 2.

Таблиця 2

Температура плавлення та жаростійкість сплавів

Номер зразка	Температура плавлення, °С	Збільшення маси $\Delta m \cdot 10^5$, г/мм ²				
		10 год	20 год	30 год	40 год	50 год
1	1315	4,31	5,746	6,608	7,47	8,332
2	1310	3,82	5,835	6,84	7,04	8,45
3	1300	4,19	6,886	8,68	8,98	10,48
4	1300					
5	1320	4,098	6,831	18,85	24,04	28,96
6	1320	10,9	16,73	17,82	20,36	25,09
7	1320	5,79	10,778	14,77	16,17	19,16
8	1320	6,5	9,193	10,99	10,99	13,0

Щодо жаростійкості, то ця характеристика матеріалу тісно пов'язана з величиною його щільності, тобто, пористість порошкових сплавів має визначальний характер: зі зростанням пористості пресованих сплавів стійкість до окислення зменшується. Це пояснюється тим, що у сплавах з високою пористістю проникнення кисню в основний матеріал полегшується. Крім того, хімічному впливу піддаються і внутрішні поверхні пор, тобто збільшується площа взаємодії з киснем, в результаті цього жаростійкість матеріалу знижується.

Порівняння збільшення маси ливарного і порошкового сплавів на кобальтовій основі з однаковим вмістом карбиду титану – 30 % об.

представлено на рис. 1, з якого видно, що ливарним сплавам властива вища стійкість до окислення, ніж порошковим.

Ливарний сплав з вмістом карбиду титану 38 % об має суттєво менший приріст маси, ніж порошковий аналогічного складу (40 % об TiC) (рис. 2).

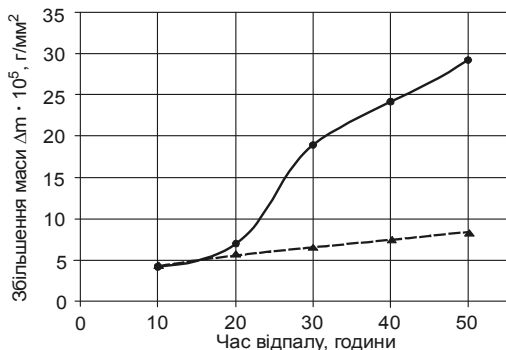


Рис. 1. Приріст маси сплавів на кобальтовій основі (30 % об TiC). —▲— ливарний сплав № 1, —●— порошковий сплав № 5.

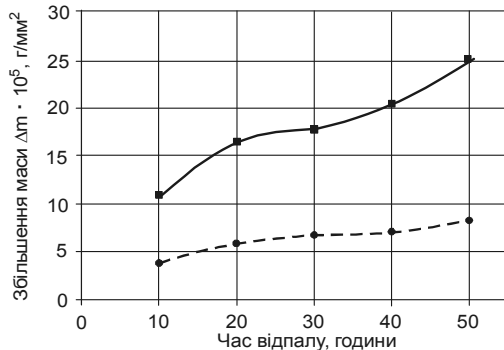


Рис. 2. Приріст маси сплавів на кобальтовій основі. —■— ливарний сплав № 2 (38 % об TiC), —●— порошковий сплав № 6 (40 % об TiC).

На підставі досліджень встановлено, що жаростійкість ливарних сплавів на кобальтовій і на нікелевій основі відрізняється несуттєво, а порошкові нікелеві сплави дещо переважають за цією характеристикою кобальтові. Найвища жаростійкість притаманна литим сплавам, основою яких є легований нікель або кобальт. Ці сплави, на відміну від порошкових, позбавлені такого недоліку, як пористість і збільшення активної поверхні. Величина приросту маси цих зразків впродовж всієї витримки менш інтенсивно зростає порівняно з порошковими.

Слід зазначити, що застосування методів порошкової металургії вимагає визначення та дотримання температурних і силових навантажень при виготовленні сплавів для досягнення якомога меншої їх пористості.

Отримані результати покладені в основу розробки матеріалів для захисту контактних поверхонь робочих лопаток авіаційних газотурбінних двигунів та відпрацювання методів їх нанесення.

Література

- Cheremova T., Dmitrieva G., Duhota A. Wear resistant protective materials for rotor blades of aircraft gas turbine engines // Materials of the 6-th world congress "Aviation in the XXI-st century". NAU, 2014. – P. 1.1.26 – 1.1.30.
- Патент України № 8240А Сплав на основі кобальту / Шурін А.К., Дмитрієва Г.П., Черепова Т.С. – Бюлетень № 1. 29.03.96.
- Патент України на корисну модель № 39450. Сплав на основі кобальту / Шурін А.К., Черепова Т.С., Андрійченко Н.В., Замковий В.Є. // Бюлетень № 4. 25.02.2009.
- Черепова Т.С., Дмитрієва Г.П., Носенко А.В. Зносостійкий сплав для захисту контактних поверхонь робочих лопаток авіаційних двигунів від окислення при високих температурах // Наука та інновації. – 2014. – № 4. – С. 22 – 31.

5. Шурин А.К., Дмитриева Г.П. Современное состояние и перспективы развития исследований квазибинарных и квазитройных сплавов железа, кобальта и никеля с карбидами (обзор). // Диаграммы состояния карбид- и нитридсодержащих систем. – Киев: ИПМ АН УССР, 1981. – С. 28 – 32.
6. Войтович Р.Ф. Окисление карбидов и нитридов. – Киев: Наук. думка, 1981. – 192 с.

Одержано 16.07.15

Т. С. Черепова, Г. П. Дмитриева, В. К. Носенко

Жаростойкость литейных и порошковых сплавов на основе кобальта или никеля с карбидным упрочнением

Резюме

Исследованы характеристики жаростойкости литейных и порошковых сплавов на основе легированных кобальта или никеля, упрочняющей фазой в которых служит карбид титана. Для сравнения содержание карбида было одинаковым для литейных и порошковых сплавов – 30 и 38 – 40 % об, независимо от матрицы. Прирост массы, определенный для порошковых сплавов зависит от их пористости, а литейные сплавы одинакового состава с порошковыми существенно превосходят их по жаростойкости. Порошковые сплавы на основе никеля, превосходят по жаростойкости сплавы на основе кобальта. Полученные результаты могут быть использованы при разработке материалов для защиты контактных поверхностей рабочих лопаток авиационных газотурбинных двигателей.

T. S. Cherepova, G. P. Dmitrieva, V. K. Nosenko

Heat resistance of casting and powder alloys based on cobalt or nickel with carbide strengthening

Summary

The characteristics of heat-resistance of cast and powder cobalt or nickel-based alloys with titanium carbide were investigated. For comparison carbide content was the same for casting and powder alloys – 30 and 38 – 40 % vol., regardless of the matrix. The growth of mass specified for powder alloys depends on their porosity and cast alloys of identical composition with powder are essentially dominated by their heat resistance. Powder nickel-based alloys are dominated by heat resistance over the alloys doped with cobalt. The results could be used to develop materials to protect contact surfaces of rotor blades of aviation gas turbine engines.