

іонізації -COOH-груп відбувається як конформаційний перехід, такий як глобула-клубок. Причиною цього ефекту є утворення внутрішньо-молекулярного комплексу між модифікованими прищепленими ланцюгами. Показано, що змішані циклічні димери карбонових та амідних груп є основним типом Н-зв'язків, які стабілізують новий внутрішньо-молекулярний полікомплекс у прищеплених ланцюгах.

Література

1. Zheltonozhskaya T. B., Demchenko O. V., Kutsevol N. V., Vitovetskaya T. V.. *Macromole. Symp.* 2001. – 166. – P. 255.
2. “*Khimicheskiye reactsiyi v polymerah*” *Khimiya* : Moskva. – 1990. – 10.
3. Zheltonozhskaya T. B., Pop G. S, Eremenko B. V., Uskov I. A. *Vysocomolec. Soed.* 1981. – A23. – P. 24.
4. Kuznetsov N. A, Moiseenko V. M., Roganova L. A., Smolyansky A. L., Shibaev V. I. *Vysokomolek. Soed.* 1977. – A19. – P. 399.

ОТРИМАННЯ СПЛАВІВ NiCrAlY ЗА ОДНОСТАДІЙНОЮ ТЕХНОЛОГІЄЮ МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОЇ ПЛАВКИ

*Гречанюк В. Г., Гречанюк М. І., Гречанюк І. М., Чорновол В. О.
Київський національний університет будівництва і архітектури,
м. Київ Повітрофлотський проспект, 3, e-mail: eltechnic777@ukr.net
Інститут проблем матеріалознавства НАН України,
м. Київ, Кржижанівського, 3*

Одним з найбільш напружених вузлів сучасних газотурбінних двигунів (ГТД) є газова турбіна. Температура газу перед турбіною зростає до 2000 К і більше. Суттєве зменшення розмірів камери згорання палива перед турбіною, скорочення часу набору і скидання оборотів веде до значного збільшення напруженості лопаток газових турбін і зниження їх довговічності. В процесі експлуатації спостерігається пошкодження поверхні шарів від газової корозії, а також від термічних і механічних циклічних навантажень. Тому актуальною задачею на сьогодні є розробки високоефективних методів збільшення довговічності лопаток газових турбін шляхом створення нових систем захисту від хімічного і технологічного руйнування поверхневих шарів.

Надійна робота ГТД можлива тільки при застосуванні матеріалів з високим рівнем службових характеристик і надійних захисних

покриттів. В якості високотемпературних захисних покриттів широке застосування знайшли високолеговані сплави на основі Ni, Co або їх сумішей, що містять до 25 % мас. Cr, 12–14 % мас. Al. Введення ітрію в покриття із сплавів Ni(Co)CrAl от 0,3 до 1 % мас. суттєво підвищує захисні функції складної оксидної плівки, яка утворюється в процесі експлуатації виробів із даними покриттями.

Метод високошвидкісного випаровування-конденсації є найбільш перспективним для осадження термобар'єрних покриттів (ТВС), в яких в якості внутрішнього жароміцного підшару використовують сплави Ni(Co)CrAlY, а зовнішній шар являє собою кераміку, найчастіше на основі ZrO₂-Y₂O₃ (YSZ) [1].

До останнього часу сплави Ni(Co)CrAlY для осадження жаростійких покриттів і формування внутрішнього жаростійкого підшару ТВС методом високошвидкісного електронно-променевого випаровування-конденсації отримували з використанням дуплекс-процесу: первинна вакуумно-індукційна плавка (ВП) відповідної шихти; вторинний електронно-променевий переплав (ЕПП) заготовки після ВП. Отримані зливки діаметром 70–74 мм і довжиною до 250 мм точили (шліфували) до отримання чистового діаметра 68,5 мм і використовували для нанесення покриттів в лабораторних, дослідно-промислових і промислових електронно-променевих установках [1].

Багаторічний досвід використання злиwkів для нанесення покриттів, виготовлених за вищевказаною технології дозволив виявити ряд істотних недоліків, основними з яких були підвищений вміст газів (O₂, N₂) і неметалічних включень, що забруднюють заготовки ВП внаслідок взаємодії рідкого металу з матеріалом керамічного тигля. Їх присутність в використовуваних заготовках, а також в зливках після ЕПП призводило до неконтрольованого вибухового викиду рідкого металу і твердих неметалевих включень на поверхню виробів, які покриваються, і, як результат, суттєвому підвищенню браку (від 10 до 20 %).

У зв'язку з цим виникла гостра необхідність розробки нової промислової технології одержання жаростійких сплавів, що забезпечують мінімальний вміст в них газів і неметалевих включень, дослідженню їх структури, хімічного і фазового складу, а також жаростійких покриттів, осаджених з використанням зазначених матеріалів, аналізу відмінностей між структурою і складом матеріалів, що випаровуються, і покриттів з них. Це стало можливим завдяки створенню промислової електронно-променевої установки L-4 нового покоління для плавки металів і сплавів, що дозволяє виключити з технологічного циклу виробництво злиwkів ВП [2].

Промислове виробництво злиwkів (слябів) жаростійких сплавів різного хімічного складу здійснюється відповідно до ТУ У [3].

Вихідну перемішану шихту з урахуванням угару легколетких компонентів (Cr, Al) завантажували в прямокутний глухий мідний водоохолоджуваний тигель (проміжну ємність), де формували сляб розміром $25 \times 25 \times (40-50)$ мм. Після отримання необхідної кількості слябів їх завантажували в бічний механізм установки, повторно переплавляли в проміжній ємності, здійснюючи порційний злив металу та його перемішування, а потім також порційно рідкий метал зливали в мідний водоохолоджуваний тигель діаметром 70 мм.

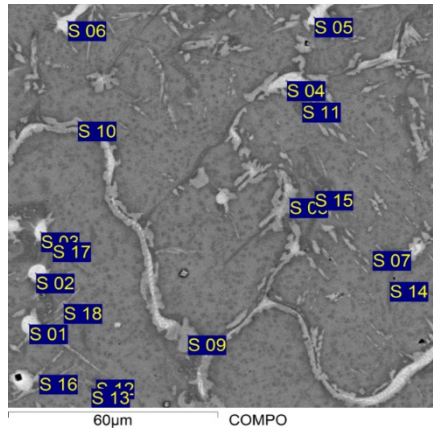


Рис. Мікроструктура сплаву NiCrAlY

Чорнові заготовки зливків діаметром 70 мм і довжиною 220–240 мм піддавали механічній обробці і наступному хімічному аналізу поверхні нижньої, середньої і верхньої частини на аналізаторі «EXPERT 3L». З отриманих кондиційних зливків готували зразки для проведення досліджень. Аналіз зливків сплавів NiCrAlY, отриманих ЕПП показав, що хімічний склад отриманих зливків відповідає ТУ [3] по компонентам Ni Cr, Al, Y і становить: 66,541; 19,7; 13,107; 0,525 % мас. відповідно.

На рисунку наведена мікроструктура зазначеного сплаву досліджена за методом SEM COMPO. В таблиці показаний хімічний склад сплаву в точках з цифрами і порядковими номерами місць аналізу на рисунку.

При введенні Al більш 5 % мас. в сплавах виявляється зміцнююча фаза Ni_3Al (γ') і їх структура стає двофазною – $\gamma + \gamma'$. При вмісті алюмінію більше 8 % мас. в сплаві утворюється β -фаза (NiAl). Аналіз наведених в таблиці даних свідчить про локальну неоднорідність розподілу компонентів сплаву в мікрооб'ємах зливка.

У рівноважному стані в сплаві присутні три фази $\beta + \gamma' + \gamma$. Аналіз структури, наведеної на рисунку, вказує на те, що переважною фазою в сплаві є β -фаза NiAl (темне поле), ланцюгові і глобулярні виділення (світле поле) характерні для γ' -фази. У складі сплаву також присутня невелика кількість сполук змінного складу на основі хрому – α -хром (табл. 1, позиції 12, 15).

Таблиця 1

Результати мікрорентгеноспектрального аналізу сплаву NiCrAlY, % мас.

Спектр	Al	Cr	Ni	Y
01	7,02	10,42	67,75	14,81
02	5,9	9,32	68,85	15,93
03	6,43	10,35	66,53	16,69
04	5,39	17,6	67,64	9,37
05	6,28	11,2	66,67	15,95
06	6,56	11,42	67,61	15,34
07	5,72	11,29	74,35	15,39
08	7,59	18,06	67,77	
09	5,71	26,51	69,06	
10	10,03	20,91	44,53	
11	9,84	45,63	44,53	
12	4,76	62,73	32,51	
13	10,67	40,91	48,42	
14	10,65	42,89	46,46	
15	4,19	55,47	40,34	
16	13,24	12,47	74,29	
17	12,74	19,83	67,43	
18	12,91	16,95	70,14	

Проведені дослідження показали можливість отримання за один технологічний цикл методом електронно-променевої плавки сплавів NiCrAlY, склад яких відповідає ТУ [3].

Література

1. Grechanyuk N. I. New electron beam Equipment and technologies of producing advanced materials and coatings / N. I. Grechanyuk, P. P. Kucherenko, I. N. Grechanyuk // The Paton Welding J. – 2007. – № 5. – P. 25–29.
2. Grechanyuk N. I. Industrial Electron-Beam Installation L-4 for Melting and Vacuum Refining of Metals and Alloys / N. I. Grechanyuk, P. P. Kucherenko, A. G. Meirik, I. N. Grechanyuk, Yu. Smashnyuk // Powder Metallurgy and Metal Ceramics. – 2016. – V. 55. № 7–8. – P. 480–495.

3. Материалы в слитках и порошках для защитных покрытий. ТУ У 27.4–20113410.002–2001. Изменение № 3 от 06.10.2015.

ЗАСТОСУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ДОДАТКА ДЛЯ АГРЕГАЦІЇ ДАНИХ СПЕКТРОМЕТРИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ

*Защепкіна Н. М.¹, Здоренко В. Г.², Наконечний О. А.³, Рудницький Р. Р.⁴
НТУ України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Україна, м. Київ, пр-т Перемоги, 37
E-mail: ¹nanic1604@gmail.com, ²valzd@meta.ua,
³nakonechnyi.oleksandr.00@gmail.com, ⁴romarudnytskiy@gmail.com*

Автоматизація аналітичних вимірювань набула значного розповсюдження в останні десятиліття у різних галузях виробництва та завданнях моніторингу навколишнього середовища, у зв'язку з стрімким розвитком інформаційних та телекомунікаційних технологій. Для визначення інформативних показників речовин у виробничих і лабораторних умовах широко застосовуються методи та засоби діагностики, що відповідають вимогам неруйнівного контролю.

Серед неруйнівних аналітичних методів, які базуються на взаємодії електромагнітного випромінювання із об'єктом дослідження, можна виділити спектрометричні методи досліджень в оптичному діапазоні довжин хвиль. Вимірювальне обладнання оптичної спектрометрії дозволяє проводити якісний і кількісний аналіз зразків досліджуваних речовин в рідкій та газоподібній фазах, шляхом реєстрації їх характеристичних спектрів випромінювання [1].

Сучасне лабораторне спектрометричне обладнання представлено вимірювальними приладами, що дозволяють проводити точне та достовірне визначення інформативних показників досліджуваних сполук. Таке обладнання оснащено спеціалізованими програмними компонентами для збору, обробки та інтерпретації вимірних даних. В той же час, лабораторні засоби спектрометрії мають значну металоємкість, масо-габаритні характеристики, ціну придбання та експлуатації. Їх застосування не є доцільним безпосередньо у багатьох поточних вимірювальних завданнях на виробництві, окремих технологічних операціях та польових умовах екологічного моніторингу.

Якщо потрібно проводити контроль вибраного параметру досліджуваної речовини (або обмеженого набору параметрів) у декількох ланках технологічного процесу або вибраних точках простору, виникає необхідність застосування портативних засобів спектрометрії, що