

УДК 669.187.526

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ СПЛАВІВ ДЛЯ ПОКРИТТІВ НА КОБАЛЬТОВІЙ І НІКЕЛЕВІЙ ОСНОВАХ

*Ю. А. Литвинюк*

*Національний технічний університет України*

*„Київський політехнічний інститут”*

Розглянуті два технологічні процеси отримання сплавів для покриттів. Визначені вимоги до якості даних сплавів. Досліджено вплив даних технологічних процесів на вміст газів та неметалічних включень у зливках сплавів для покриттів.

Рассмотрены два технологических процесса получения сплавов для покрытий. Определены требования к качеству данных сплавов. Исследовано влияние данных технологических процессов на содержание газов и неметаллических включений в слитках сплавов для покрытий.

Two technological processes of alloys for coatings obtaining were considered. Quality specifications of the current alloys were determined. Influence of the given technological processes on the gases and nonmetallic inclusions content in alloys for coatings ingots was researched.

Сплави для покриттів на кобальтовій і нікелевій основах належать до жаростійких сплавів і використовуються в якості зовнішніх (оверлейних) покриттів [1], внутрішнього шару металокерамічних покриттів [2], а також для одержання градієнтних покриттів [3]. Найпоширенішими методами нанесення покриттів є: атмосферне плазмове напилювання, плазмове напилювання при зниженому тиску, електронно-променеве випаровування і конденсація з парової фази [4]. Кожен із цих методів по-своєму впливає на якість покриття. Але одним з головних факторів, що впливає на якість покриття є якість вихідного зливка жаростійкого сплаву, що використовується у вигляді штабиків для електронно-променевого випаровування, або порошку, а також дроту для плазмових технологій. В теперішній час для виплавки сплавів даного типу використовується дуплекс-процес - вакуумно-індукційний переплав з наступним електронно-променевим. Дослідження науково-виробничого підприємства «Геконт»

показали можливість виключення вакуумно-індукційного переплаву з технологічного ланцюжка одержання сплавів для покриттів.

#### *Дуплекс-процес одержання жаростійких сплавів*

До складу жаростійких сплавів на кобальтовій і нікелевій основах входять хром, алюміній та ітрій. Для забезпечення однорідності сплавів їх готують у вакуумно-індукційній установці [5] з наступним розливанням у кокіль. Після обдирання зливок піддають електронно-променевому переплаву із проміжною ємністю. Матеріал тигля, шлаки, вогнетривке покриття кокілю є джерелами екзогенних й екзоендогенних неметалічних включень. Для втримання неметалічних включень, що спливають у проміжній ємності при електронно-променевому переплаві, використовується зливний носик з мідною водоохолоджуваною надставкою.

Вихід придатного після вакуумно-індукційного приготування сплаву становить 83%.

#### *Електронно-променевий процес одержання жаростійких сплавів*

Даний технологічний процес проходить у два етапи:

**1. Приготування сплаву.** Залежно від щільності й температури плавлення компонентів сплаву, рівномірно шихтують спеціальні водоохолоджувані ємності, де при мінімальному перегріві сплавляють їх у брикети з рівномірним розподілом компонентів.

**2. Виплавка злитків.** Отримані брикети переплавляються через проміжну ємність у зливки необхідних розмірів.

Така технологічна схема виключає можливість забруднення розплаву домішками, неметалічними включеннями й газами, і забезпечує вищий ступінь рафінування, так як процес плавки проходить у вакуумі порядку  $10^{-4}$  Па. Тим більше, чим менше маса таких брикетів, тим рівномірніше розподіл компонентів сплаву. На практиці використовуються такі співвідношення маси брикету до маси злитків: 1:2 й 1:1.

При одержанні такого напівфабрикату зменшення маси сплаву здійснюється за рахунок розбризкування й випаровування компонентів сплаву й становить 1-2%.

Наступний електронно-променевий переплав із проміжною ємністю як при дуплекс-процесі, так і при даній технології пов'язаний з витратою сплаву на заповнення проміжної ємності для наступного зливу розплаву в кристалізатор. Звичайно маса сплаву в проміжній ємності становить 12-16 кг. Якщо розглядати підприємства, що займаються постійно або періодично виправкою сплавів СДП, то для кожної марки сплаву є стаціонарні вилівки проміжної ємності, які використовуються багаторазово.

### *Якість сплавів для покриттів*

У результаті кінцевого електронно-променевого переплаву одержують зливки - рисунок 1, які після механічної обробки поверхні мають вигляд зображений на рисунку 2.



Рис. 1. Зовнішній вигляд зливка СДП-3, одержаного електронно-променевим переплавом.



Рис. 2. Зовнішній вигляд зливка СДП-3, після механічної обробки поверхні.

У процесі механічної обробки поверхні на стружку витрачається 4-6% від маси зливка. Також існує більша ймовірність браку при механічній обробці – зливки можуть розколюватися вже при центруванні або обробці

поверхні. Це пов'язане з тим, що до складу даних сплавів входять інтерметалічні сполуки, як відомо вони надають зливку твердості й крихкості [6]. Це в більшій мірі стосується сплавів на основі кобальту, тому що інтерметалічні фази  $\text{CoCr}$  і  $\text{CoAl}$  виділяються по межах зерен (рис. 3). У сплавах на основі нікелю виділяються зміцнюючі інтерметалічні фази  $\text{Ni}_3\text{Al}$  й  $\text{NiAl}$ , які рівномірно розподіляються у твердому розчині  $\text{Cr}$  й  $\text{Al}$  в  $\text{Ni}$  (рис. 4).

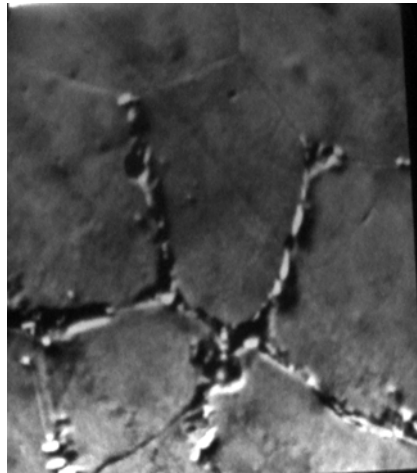


Рис. 3. Мікроструктура сплаву на кобальтовій основі.

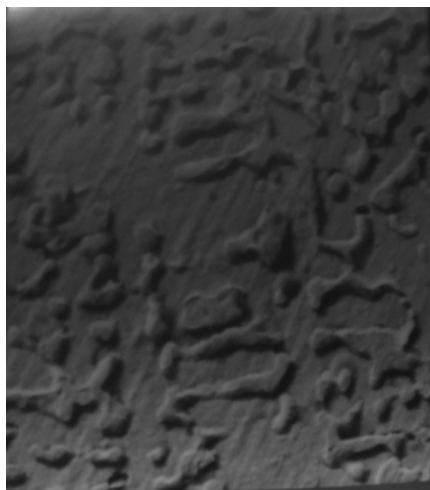


Рис. 4. Мікроструктура сплаву на нікелевій основі.

Також одержання браку при механічній обробці може бути пов'язане з дефектами самих виливків - осьовою поруватістю, закритою усадковою раковиною, непропаленням шарів зливка при порціонному заливанні в кристалізатор, скупчення великої кількості неметалічних включень в осьовій частині зливка (рис. 5).

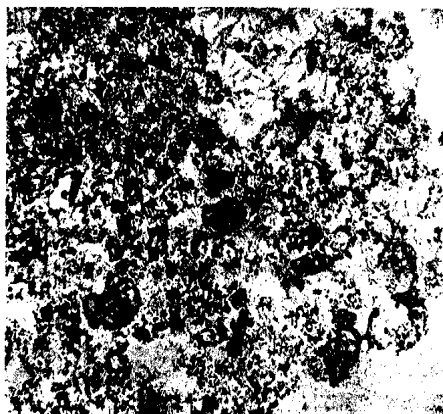


Рис. 5. Макроструктура неметалічних включень, що перебувають в осьовій зоні зливка сплаву для покриття на кобальтовій основі.

Наявність неметалічних включень вкрай негативно впливає на якість покриттів. У процесі електронно-променевого нанесення покриття, при випаровуванні зливка проходить дисоціація неметалічних включень, що у свою чергу призводить до розбризкування рідкометалічної ванни й потраплянню крапель розплаву на поверхню покриття (рис. 6), що є неприпустимим.

Використання ЕПП для готування даних сплавів виключає можливість утворення екзогенних й екзоендогенних неметалічних включень, тому що розплав контактує тільки з водоохолоджуваною міддю й перебуває у вакуумі порядку  $10^{-4}$  Па. Також більша площа взаємодії розплаву з рафінуючим середовищем - вакуумом тільки позитивно впливає на ступінь дегазації розплаву.

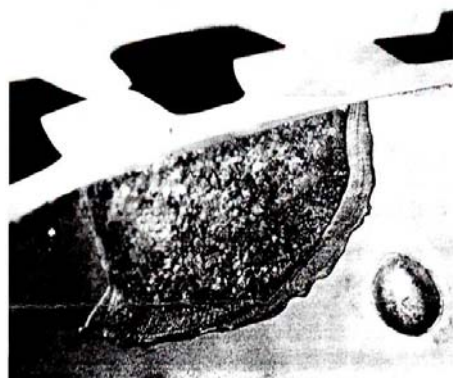


Рис. 6. Дефект покриття - краплі на поверхні лопатки газової турбіни.

До того ж висока кількість розчиненого газу в розплаві може приводити до утворення ендогенних неметалічних включень. У таблиці 1 наведені значення концентрації газів у сплаві на кобальтовій основі.

## Концентрація газів у сплаві СДП 20

Технологія виплавки сплаву	Концентрація газів, % мас.		
	O	N	H
ВІП+ЕПІ	0,091	0,013	0,0074
ЕПІ	0,0043	0,015	0,00025

Таким чином, використовуючи технологію ЕПІ, можна досягти концентрації по кисні й водню на порядок нижче, ніж використання дуплекс-процесу. Штабіки, отримані дуплекс-процесом, придатні для нанесення покриття технологією електронно-променевого випаровування й конденсації з парової фази, але при одержанні порошку для плазмового напилювання необхідної фракції концентрація газів може збільшитися на порядок і більше, що зробить порошок непридатним для плазмового напилювання.

## Висновки

З огляду на енерговитрати, вихід придатного, трудомісткість процесу одержання сплавів для покриттів електронно-променевою технологією одержання цих сплавів на 30% економічніше технології одержання дуплекс-процесом.

1. При майже однаковій неоднорідності злитків, виплавлених даними технологіями, якість сплавів по газам і неметалічних включенням при ЕПІ технології значно вище.

2. Дані дослідження показали, що готування сплаву в ВІП можна виключити з технологічного ланцюжка одержання сплавів для покриттів.

3. Необхідно знайти заміну механічній обробці поверхні злитків.

## Література

1. Ч.Т. Симс, Н.С. Столофф. Суперсплавы 2. – М.: Металлургия, 1995. – 384с.
2. Долговечность двухслойных покрытий металл-керамика на рабочих лопатках газовых турбин / Б.А. Мовчан, И.С. Малашенко, Н.П. Вашило и др. // Специальная электрометаллургия. – 1962. – Вып. 87. – С. 44-53.
3. Яковчук К.Ю., Рудой Ю.Э. Одностадийная электронно-лучевая технология осаждения термобарьерных градиентных покрытий // Современная электрометаллургия. - 2003. - №2. – С. 10-16.
4. Жаропрочность литейных никелевых сплавов и защита их от окисления / Б.Е. Патон, Г.Б. Строганов, С.Т. Кишкин и др. – К.: Наук. думка, 1987. – 256 с.
5. Effect of residual elements on high performance nickel base superalloys for gas turbines and strategies for manufacture / O.P. Sinha, M. Chatterjee, S. N. Jha and other// Mater. Sci. – 2005. - №4. – P. 379-382.
6. Мовчан Б.А., Малашенко И.С. Жаростойкие покрытия, осаждаемые в вакууме. – К.: Наук. думка, 1982. – 232 с.