

УДК 621.74:669.017.3

## *Вплив високодисперсного модифікатора на структуру та властивості нікелевого сплаву СМ88У*

А. Д. Зайченко, кандидат технічних наук  
О. О. Жданов, кандидат технічних наук  
А. С. Торпаков  
О. М. Сизоненко, доктор технічних наук, професор

Інститут імпульсних процесів і технологій НАН України, Миколаїв

*В роботі показано можливість виготовлення модифікатора для жароміцного нікелевого сплаву СМ88У методом високовольтного електричного розряду (ВЕР). Шляхом обробки суміші порошків 50 % Al + 50 % Ti високовольтним електричним розрядом отримано модифікатор, який містить фази TiC, AlTi<sub>3</sub>, AlTi, Al<sub>2</sub>Ti, Ti<sub>3</sub>AlC<sub>2</sub>, Ti<sub>3</sub>AlC, його використання дозволило зменшити розмір зерна від 1 – 2 мм до 0,2 – 0,3 мм при незмінному хімічному складі сплаву.*

Модифікування металів і сплавів введенням в розплав невеликих кількостей модифікаторів різко впливає на кристалізацію, наприклад, викликає подрібнення структурних складових та зміни їх розподілу. В результаті модифікування покращуються механічні властивості сплаву [1 – 3]. Якісними характеристиками модифікаторів є розмір окремих тугоплавких частинок, його хімічна чистота і ціна [2]. Певну кількість модифікаторів виготовляють методами порошкової металургії. Відомо, що високовольтний електричний розряд (ВЕР) в дисперсній системі металевий порошок – газ дозволяє не тільки подрібнювати частинки металу, а й ініціювати протікання хімічних реакцій. Так при ВЕР обробці в газі порошків Al, Ti та їх сумішей можливий синтез таких тугоплавких складових як TiC, інтерметаліди AlTi<sub>3</sub>, AlTi, Al<sub>2</sub>Ti, Al<sub>3</sub>Ti та МАХ-фази типу Ti<sub>3</sub>AlC<sub>2</sub> та Ti<sub>3</sub>AlC [4].

Мета роботи полягала у дослідженні впливу порошкового модифікатора системи Al – Ti – С, отриманого ВЕР, на структуру і властивості жароміцного нікелевого сплаву СМ88У.

ВЕР обробка порошків проводилася на стенді, детальна схема якого розглянута в роботі [4]. Для отримання модифікатора було обрано суміш 50 % Ti + 50 % Al (мас.). Питома енергія ВЕР обробки порошків була 3,33 МДж/кг та 6,67 МДж/кг. Обробка проводилась в середовищі газу, який під впливом плазмового каналу розряду деструктував з утворенням активного нановуглецю та водню.

Аналіз рентгенограм суміші порошків складу 50 % Ti + 50 % Al після ВЕР обробки із  $W_{\text{пир}}=3,33\text{МДж/кг}$  свідчить про наявність карбиду

титану TiC, інтерметалідів алюмінію та титану AlTi<sub>3</sub>, AlTi, Al<sub>2</sub>Ti, Al<sub>3</sub>Ti та подвійного карбїду Ti<sub>3</sub>AlC. Збільшення питомої енергії ВЕР-впливу на порошкову суміш 50 % Ti + 50 % Al у 2 рази (до 6,67 МДж/кг) призводить до синтезу таких сполук, як AlTi<sub>3</sub>, AlTi, Al<sub>2</sub>Ti, Al<sub>3</sub>Ti, Ti<sub>3</sub>AlC, Ti<sub>3</sub>AlC<sub>2</sub>, Ti<sub>2</sub>AlC та лонсдейліт. Піки карбїду титану у цьому випадку дещо більш виражені, ніж у випадку ВЕР-обробки із  $W_{\text{пит}}=3,33$  МДж/кг. Такий фазовий склад, та розмір синтезованих сполук (300 нм – 5 мкм) дозволяє рекомендувати використання обробленої суміші порошоків складу 50 % Ti + 50 % Al у якості модифікатора жароміцного сплаву.

Для використання порошоків після ВЕР-обробки у якості модифікатора виконувалось їх іскро-плазмове спікання, маса порошкової заготовки складала 7,5 г, час витримки – 300 с, тиск при спіканні 30 МПа, температура на матриці складала від 300 до 400 °С. Діаметр зразків складав 20 мм, а їх висота – 5 мм.

Дослідження виконувались шляхом заливки пальчикових проб з жароміцного сплаву CM88Y у керамічну форму у вакуумній печі VIM-25. Спечений зразок ММК, який буде використано в якості модифікатора, розміщували на дні керамічній формі безпосередньо перед заливкою металу. Маса металу, що заливається в одну форму, складала 7 кг.

Дослідження розміру зерен на поверхні шліфів після модифікування виконували на повздовжніх та поперечних протравлених шліфах (таблиця).

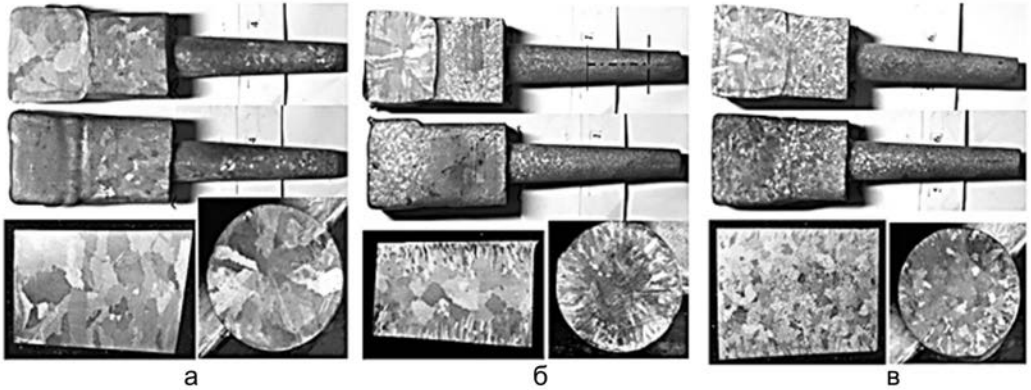
Дослідження довготривалої міцності сплаву виконували при постійному навантаженні 280 МПа та температурі 900 °С. Контроль міцності на розрив виконували при температурах 600 °С ( $\sigma_{600}$ ) та 900 °С ( $\sigma_{900}$ ).

Таблиця

Дослідження можливості модифікування сплаву CM88Y

№ зразку	Модифікатор	Середній розмір зерен на поверхні, мм	Результат модифікування	$t_{280}$ , год	$\sigma_{600}$ , МПа	$\sigma_{900}$ , МПа
1	Без модифікатора	1,0 – 2,0	відсутнє	131,5	105	63,6
2	Al – Ti – C після ВЕР-обробки із $W_{\text{пит}}=3,33$ МДж/кг	0,2 – 0,3	поверхнєве	182,7	107	68
3	Al – Ti – C після ВЕР-обробки із $W_{\text{пит}}=6,67$ МДж/кг	0,3 – 0,5	об'ємне	183,15	103	68

Структуру отриманих зразків наведено на рисунку.



Структура нікелевого сплаву SM88У: а – без модифікатора, б – модифікатор системи Al – Ti – C, отриманий ВЕР  $W_{\text{пит}} = 3,33$  МДж/кг; в – модифікатор системи Al – Ti – C, отриманий ВЕР  $W_{\text{пит}} = 6,67$  МДж/кг.

За результатами хімічного аналізу, хімічний склад усіх дослідних зразків знаходився в межах, допустимих для SM88У – вміст вуглецю від 0,06 до 0,09 %, Si – від 0,04 до 0,06 %, Mn – 0,03 % у всіх зразках, P – 0,04 % у всіх зразках, S – від 0,02 до 0,03 %, Cu – від 15,4 до 15,8 %, Mo – від 1,76 до 1,92 %, Fe – від 0,06 до 0,09 %, W – від 4,7 до 4,96 %, Al – від 2,8 до 3,3 %, Co – від 10 до 11,5 %, Nb – 0,19 % у всіх зразках, Ti – від 4,17 до 5 %, V – від 0,06 до 0,1 % та Hf – від 0,31 до 0,34 %.

Результати досліджень порівнювались із властивостями сплаву SM88У, позначеними в паспорті на матеріал ( $\sigma_{600} = 90$  МПа,  $\sigma_{900} = 65$  МПа).

Показано, що введення ВЕР синтезованого модифікатора системи Al – Ti – C в розплав жароміцного сплаву SM88У у кількості 0,01 % дозволяє зменшити розмір зерна з 1 – 2 мм до 0,2 – 0,3 мм. При цьому довготривала міцність сплаву при навантаженні 280 МПа та температурі 900 °С підвищується на 10 – 15 %, а міцність на розрив при температурі 600 °С складала 107 МПа. Міцність на розрив при температурі 900 °С складала 68 МПа.

## Література

1. Гольдштейн Я. Е., Мизин В.Г. Модифицирование и микролегирование чугуна и стали. М.: Металлургия, 1986. – 272 с.
2. Шуб Л.Г., Ахмадеев А.Ю. О целесообразности модифицирования стального литья. Модифицирование как эффективный метод повышения качества чугунов и сталей: сб. док., г. Челябинск. – 2006. – С. 15.
3. Шуб Л.Г. Рекомендации по модифицированию стали. Теория и практика металлургических процессов при производстве отливок из чёрных сплавов: сб. док., г. Челябинск. – 2007. – С. 120.
4. Сизоненко О.Н., Липян Е.В, Торпаков А.С. К вопросу об оптимизации параметров высоковольтной импульсной обработки // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». – Луцьк. – 2015. – № 50. – С. 203 – 207.

## Reference

1. Goldshtejn Y.E., Mizin V.G. *Modificirovanie i mikrolegirovanie chuguna i stali* (Modification and microalloying of cast iron and became), Moskva: Metallurgiya, 1986, 272 p. [in Russian].
2. Shub L.G., Ahmadeev A.Yu. *Modificirovanie kak ehffektivnyj metod povysheniya kachestva chugunov i stalej* (Modification as an effective method of improving the quality of iron and steel), Abstracts of Papers, Chelyabinsk, 2006, pp. 15 [in Russian].
3. Shub L.G. *Teoriya i praktika metallurgicheskikh processov pri proizvodstve otlivok iz chyornyh splavov* (Theory and practice of metallurgical processes in the production of castings from black alloys), Abstracts of Papers, Chelyabinsk, 2007, pp. 120 [in Russian].
4. Sizonenko O.N., Lipyan E.V., Torpakov A.S., *Mizhvuzivskij zbirnik «Naukovi notatki»*, Luck, 2015, No 50. pp. 203 – 207.

Одержано 20.11.18

**А. Д. Зайченко, А. А. Жданов, А. С. Торпаков, О. Н. Сизоненко**

### **Влияние высокодисперсного модификатора на структуру и свойства никелевого сплава CM88У**

#### **Резюме**

В работе показана возможность изготовления модификатора для жаропрочного никелевого сплава CM88У методом высоковольтного электрического разряда (ВЭР). Путем ВЭР обработки смеси порошков 50 % Al + 50 % Ti получено модификатор, содержащий фазы TiC, AlTi<sub>3</sub>, AlTi, Al<sub>2</sub>Ti, Ti<sub>3</sub>AlC<sub>2</sub>, Ti<sub>3</sub>AlC, его использование позволило уменьшить размер зерна от 1 – 2 мм до 0,2 – 0,3 мм, причем химический состав сплава остается неизменным.

**A. D. Zaichenko, A. A. Zhdanov, A. S. Torpakov, O. M. Syzonenko**

### **The effect of a highly dispersed modifier on the structure and properties of the nickel alloy CM88У**

#### **Summary**

The work demonstrates the possibility of manufacturing a modifier for a heat-resistant nickel alloy SM88U by the method of high-voltage electrical discharge (HVD). By means of HVD processing of a mixture of 50 % Al + 50 % Ti powders, a modifier containing Ph, AlTi<sub>3</sub>, AlTi, Al<sub>2</sub>Ti, Ti<sub>3</sub>AlC<sub>2</sub>, Ti<sub>3</sub>AlC phases was obtained, its use allowed to reduce the grain size from 1 – 2 mm to 0.2 – 0.3 mm, at which the chemical composition of the alloy remains unchanged.