

7. Рахуба В. О. Разработка и исследование АСУ формированием гранулометрических характеристик агломерационной шихты при подготовке к спеканию / В. О. Рахуба // Металургія: наукові праці ЗДІА. – Запоріжжя: РВВ, 2009. – № 20. – С. 14-19.

8. Бережной М.М., Мовчан В.П., Плевако В.С. Збагачення та окускування сировини. – Харків, 2000. – 365 с.

УДК 620.17:620.1:669.245

**Данилов С.М., Педаш О.О., Наумик В.В., Тьомкін Д.О., Ткач Д.В.**

ЗМЗ ім. Омельченко АТ «МОТОР СІЧ»

АТ «МОТОР СІЧ», Запоріжжя

НУ «Запорізька політехніка»

### **КОМПЛЕКСНЕ МОДИФІКУВАННЯ ЖАРОМІЦНОГО СПЛАВУ З ВИКОРИСТАННЯМ УЛЬТРАДИСПЕРСНИХ ЧАСТОК КАРБОНІТРИДУ ТИТАНУ**

Найбільш відповідальні деталі ГТД (лопатки турбіни) отримують литвом перегрітого до температури 1600°C нікелевого сплаву в керамічні форми, нагріті до 1000°C, що забезпечує гарну заповнюваність форми та отримання заданої геометричної конфігурації робочої частини вилівка. Такі температурні умови при об'ємній кристалізації металу незбіжно призводять до укрупнення структурних складових, особливо макрозерен, розміри котрих можуть досягати десятків мм, що в свою чергу може чинити негативну дію на циклічну довговічність деталей гарячого тракту газотурбінного двигуна виготовлених з жароміцних нікелевих сплавів. Тому подальше підвищення експлуатаційних характеристик лопаток турбін ГТД безпосередньо пов'язане з подрібненням їх структури.

В даній роботі вивчали вплив комплексного модифікування на структуру та властивості жароміцного сплаву на нікелевій основі ЖСЗДК-ВІ. При цьому був використаний комплекс модифікаторів першого та другого роду для формування сприятливої морфології фазового складу сплаву, а також було застосовано модифікатор при введенні в керамічну форму для інтенсифікації тепловідведення від розплаву і формування дрібнодисперсного макрозерна на поверхні вилівоків. Для цього на вакуумній

плавильній установці УППФ-3М шихтову заготовку сплаву ЖСЗЛС-ВІ вагою ~ 8 кг, розплавляли при  $1650 \pm 10^\circ\text{C}$  и за 2,5-3 хв. до його зливання розплаву присаджували брикетований ультрадисперсний модифікатор  $\text{Ti}[\text{Ti}(\text{C},\text{N})]$  для отримання його вмісту в сплаві у кількості 0,25%, 0,5%, 0,75%. Надалі знижували температуру розплаву до  $1530 \pm 10^\circ\text{C}$  й додавали до розплаву нікель-ітрієву лігатуру для отримання з розрахунком в сплаві 0,01% ітрію, витримували впродовж 1-1,5 хв. і при залишковому тиску в печі 0,665 Па заливали в корундові керамічні форми, отримані за витоплюваними моделями й нагріті до  $950 \pm 10^\circ\text{C}$ . Характерною особливістю форм була наявність у першому робочому шарі поверхневого модифікатора – алюмінату кобальту (5%). Після зливання розплаву та його кристалізації отримували заготовки зразків для перевірки хімічного складу, випробування механічних властивостей та дослідження макро- й мікроструктури.

З метою зменшення ливарної пористості у виливках проводили гаряче ізостатичне пресування та стандартну для сплаву ЖСЗДК-ВІ термічну обробку.

Хімічний склад зразків зі сплаву ЖСЗДК-ВІ усіх дослідних варіантів модифікування, відповідав вимогам нормативної документації. Модифікуванням отримали в сплаві вміст ітрію 0,01%.

Модифікування комплексами  $\text{Ti}[\text{Ti}(\text{C},\text{N})] + (\text{Ni}-\text{Y}) + \text{CoAl}_2\text{O}_4$  забезпечили в зразках дрібне макрозерно. При цьому більш дрібним (з розміром 1,0...3,5 мм) макрозерно виявилось при введенні у розплав 0,75%  $\text{Ti}[\text{Ti}(\text{C},\text{N})]$ .

При металографічному дослідженні встановлено, що при введенні у розплав 0,50% - 0,75%  $\text{Ti}[\text{Ti}(\text{C},\text{N})]$  карбіди й карбонітриди виділялися у вигляді дискретних глобулярних часток, в основному, рівномірно розподілених в об'ємі металу. Розмір часток карбідів й карбонітридів не перевищував 3-4 мкм. Введення в розплав 0,25%  $\text{Ti}[\text{Ti}(\text{C},\text{N})]$  призвело до виділення карбідів як у вигляді дискретних глобулярних часток  $\text{Me}_3\text{C}$ , так й пластин (довжиною до 8 мкм), що характерні для евтектичних карбідів типу  $\text{Me}_6\text{C}$ .

Мікроструктура зразків, зі сплаву ЖСЗДК-ВІ отриманих з використанням дослідного комплексу модифікаторів (після ГП й термічної обробки), являла собою  $\gamma$ -твердий розчин, що зміцнений інтерметалідною  $\gamma'$ -фазою, з наявністю карбідів й карбонітридів й характерна для нормально термообробленого стану сплаву ЖСЗДК-ВІ.

Слід відмітити, що в зразках, отриманих з використанням 0,50% - 0,75%  $\text{Ti}[\text{Ti}(\text{C},\text{N})]$ , виявили тонкі межі зерен з наявністю примежових карбідів розміром, в основному, що не перевищував ~ 2 мкм. В мікроструктурі зразків, відлитих з використанням 0,25%  $\text{Ti}[\text{Ti}(\text{C},\text{N})]$ , межі зерен були більш грубі за рахунок виділення карбідів у вигляді плен й/або витягнутих до ~ 8 мкм пластин.

Дослідженням встановлено, що в процесі ГП відбувається «заліковування» мікропор й рихлот, що розташовувалися у внутрішніх об'ємах виливків, а майже повна їх відсутність сприяла стабілізації структури й властивостей матеріалу.

Механічні властивості зразків, отриманих з використанням дослідного комплексу модифікаторів, після ГП й стандартної термічної обробки задовільні й відповідають вимогам нормативно технічної документації. Слід відмітити, що більші показники ударної в'язкості (критичного параметру, що визначає працездатність лопаток турбіни зі сплаву ЖСЗДК-ВІ) отримані з використанням 0,50% - 0,75% Ti[Ti(C,N)] коли її значення становили 60-70 Дж/см<sup>2</sup>. Модифікування дослідним комплексом з використанням 0,25% Ti[Ti(C,N)] забезпечило значення ударної в'язкості на рівні 5 Дж/см<sup>2</sup>.

Час до високотемпературного руйнування сплаву ЖСЗДК-ВІ, модифікованого дослідними комплексами усіх варіантів, відповідав вимогам нормативної документації. При цьому модифікування з використанням 0,50% Ti[Ti(C,N)] забезпечило показники, що приблизно в 10 разів перевищували вимоги нормативної документації.

УДК 669.35.15.017: 621.891

**С.Я. Шипицин, Г.Є. Федоров, М.В.Карпець, І.Ф. Кірчу, Д.І. Лихovej,  
Т.В.Степанова**

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, м. Київ  
+38(044) 423 15 83, [odus@ptima.kiev.ua](mailto:odus@ptima.kiev.ua)

### **ПІДВИЩЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВИСОКОМАРГАНЦЕВИХ СТАЛЕЙ УДОСКОНАЛЕННЯМ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕ- СІВ ЇХ ПЛАВЛЕННЯ, МІКРОЛЕГУВАННЯ ТА МОДИФІКУВАННЯ**

Серед численних марок сталей, які використовують для виробництва литих деталей, що працюють в екстремальних умовах ударно-абразивного зносу, й сьогодні провідне місце посідають високомарганцеві аустенітні сталі. Найбільш поширеною для роботи в таких умовах є сталь 110Г13Л, оскільки вона єдина має цілий комплекс унікальних властивостей: високу в'язкість металу, опір ударним навантаженням, наклепуваність внаслідок деформацій від дії зовнішніх динамічних навантажень й утворення на поверхні виробу зміцненого шару, який забезпечує високу зносостійкість цієї сталі. Крім того, відсутність дефіцитних складових у шихті для виплавляння цієї сталі