

УДК 669.245.018.044:620.193.53

Гончарова В.В.¹Глотка О.А.²

¹студ. гр. ІФ -210м НУ «Запорізька політехніка»

²канд.техн.наук., доц., НУ «Запорізька політехніка»

МАТЕМАТИЧНЕ ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЖАРОМІЦНИХ НІКЕЛЕВИХ СПЛАВІВ

За останні роки розвиток реактивної авіації, температура водневмісного газу на вході в турбіну зростає з 1200 К, в двигунах другого покоління, до 1800-1950 К в двигунах п'ятого покоління. Близько 70% цього приросту було отримано за рахунок вдосконалення систем повітряного охолодження лопаток газових турбін, а 30% - в результаті підвищення рівня механічних властивостей жароміцних нікелевих сплавів (ЖНС) [1 - 4].

Мета даної роботи - отримання прогнозують регресійних моделей, за допомогою яких, можна адекватно розраховувати критичні температури для жароміцних нікелевих сплавів (ЖНС) спрямованої кристалізації, без проведення попередніх експериментів.

Для експериментально-теоретичних досліджень температурної працездатності сформована робоча вибірка сплавів, що складається з відомих промислових ЖНС для спрямованої кристалізації вітчизняного і зарубіжного виробництва, наступних марок: ЖС-26, ЖС-26У, ЖС6Ф, ЖС-28, ЖС-30, ВЖЛ-20, GTD-111, Mar-M247, CM-247LC, Mar-M200 + Hf, Mar-M246 + Hf, U- 500, U-700, PWA-1 422, PWA-1426, CM-186LC, Rene 142, Rene 150, IN-792LC, DS-16, Mar-M002, Rene 125, Rene 80H. Вибірка сплавів була зроблена з позиції різноманітності хімічних складів (систем легування), які за змістом основних елементів мають широкий діапазон легування. Жароміцність сплавів визначається термодинамічною стабільністю фаз, яку пропонують оцінювати по температурах $t_{c,d}$, t_{eut} , t_S , і t_L розробка методики розрахунку цих значень від хімічного складу сплаву є актуальним завданням.

В результаті обробки експериментальних даних і наведених вище міркувань, вперше запропоновано співвідношення елементів для оцінки термодинамічної стабільності фаз, який враховує комплексний вплив всіх компонентів сплаву. Дане співвідношення добре корелює з температурами $t_{c,d}$, t_{eut} , t_S , t_L , які, в свою чергу, добре корелюють з жароміцністю сплавів.

Зв'язок температур повного розчинення γ' -фази, евтектичного перетворення і солідусу із запропонованим співвідношенням $K_{\gamma'}$ адекватно описуються регресивними моделями. Підвищення теплофізичних характеристик

сплавів зі збільшенням параметра $K\gamma'$ зв'язується зі збільшенням легування сплавів як γ' -утворюючими елементами, так і елементами знаходяться в γ -твердому розчині. Однак, при значенні 1,6 ... 1,7 $K\gamma'$, спостерігається зниження температур $t_{c.d}$ і t_S , в наслідок особливості легування сплавів в даному інтервалі, а саме збільшення вмісту елементів, які класифікуються як γ -твердорозчинні зміцнювачі. При збільшенні значення більш 2,2 ... 2,3 $K\gamma'$ спостерігається зростання температур $t_{c.d}$ і t_S , що пов'язано зі зміною сил міжатомного зв'язку (за рахунок збільшення легування сплаву).

Температура ліквідус пов'язана з термодинамічною стабільністю твердого розчину, на яку впливають тугоплавкі елементи, вони розчиняються переважно в γ -твердому розчині і істотно підвищують термодинамічну стабільність фаз в ЖНС через низький коефіцієнт дифузії, що призводить до гальмування рухливості атомів. Тому, обробивши експериментальні дані вперше запропоновано наступне співвідношення елементів, яке дає можливість досить точно прогнозувати температуру ліквідус і температурний інтервал кристалізації ЖНС.

Температура ліквідус збільшується зі зростанням значення $K\gamma$, що характерно при збільшенні елементів, які знаходяться в γ твердому розчині. Залежність температурного інтервалу кристалізації від значення $K\gamma$ має подібний характер з $t_{c.d}$ і t_S і підпорядковується вище описаним взаємозв'язкам.

За допомогою побудованих регресійних моделей можна з високою точністю прогнозувати критичні температури сплавів без попередніх експериментів методом диференціального термічного аналізу, а також розраховувати ширину температурного інтервалу для ефективного гомогенізуючого відпалу в залежності від вмісту легуючих елементів в сплаві.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. B. G. Choi MC Carbide Decomposition during Thermal Exposure of Polycrystalline Ni-Base Superalloys / B. G. Choi // Solid State Phenomena. – 2007. Vols. 124-126. –PP. 1505-1508.
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.124-126.1505>
2. M.Kvapilova Creep behaviour and life assessment of a cast nickel – base superalloy MAR – M247 / M.Kvapilova, J. Dvorak, P.Kral, K.Hrbacek // High Temperature Materials and Processes. – 2019. Vols.38. – PP. 590–600.
<https://doi.org/10.1515/htmp-2019-0006>
3. Petrushin, N.V., Elyutin, E.S., Nazarkin, R.M. et al. Segregation of alloying elements in directionally solidified Re–Ru-containing Ni-based superalloys. Inorg. Mater. Appl. Res. 7, 824–831 (2016).
<https://doi.org/10.1134/S2075113316060149>