

УДК 669.245.018.044:620.193.53

Гончарова В - ст. гр. ІФ-210м

Національний університет «Запорізька політехніка»

ЧИСЕЛЬНИЙ МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЖАРОМІЦНИХ НІКЕЛЕВИХ СПЛАВІВ

Науковий керівник: к.т.н., доцент. Глотка О.А.

Goncharova V.

Zaporizhzhia Polytechnic National University

NUMERICAL METHOD FOR DETERMINATION PROPERTIES OF NICKEL-BASED SUPERALLOYS

Supervisor: Ph.D. Glotka O.A.

Ключові слова: міцність, жароміцність, місфіт.

Keywords: strength, heat resistance, misfit.

Розробка нових і оптимізація сплавів для литих деталей, а саме, найбільш високонавантажених, якими є робочі і соплові лопатки ГТД, є матеріалознавчим, конструкторським і технологічним завданням, що вимагає комплексного вирішення. Для сучасних термонапружених газотурбінних двигунів вищезазначені складнопрофільні деталі виготовляють з багатокомпонентних жароміцних сплавів на основі нікелю, кобальту і заліза методами рівновісного, спрямованого або монокристалічного лиття [1 - 4].

Розробки останніх років зосереджені на дослідженні лопаткових матеріалів з низьким вмістом дорогих елементів для авіадвигунобудування. Однією з проблем такого типу матеріалів є підвищення їх міцності. Для підвищення жароміцності сплави легують підвищеним вмістом хрому. Однак, високий вміст хрому може з'явитися причиною появи в процесі напрацювання в структурі виливки топологічно щільнопакованих фаз типу μ , σ , що буде призводити до фазової структурної нестабільності і крихкості деталей [5 - 7].

Для експериментально-теоретичних досліджень температурної працездатності сформована робоча вибірка сплавів, що складається з відомих промислових сплавів для рівновісного лиття вітчизняного і зарубіжного виробництва, наступних марок: ЖС6У, ЖС6К, ВЖЛ12У, ВЖЛ12Е, В1900, ІN 100, MAR M200, MAR M246, TRW NASA 6A, WAZ16, U500, U700, ЖСЗДК, ЖСЗЛС, ВХ4Л, ЧС88У, ЧС104, RENE77, ІN939, ІN738LC, СМ681, RENE220, NFP1916, ЧС70С, СМ939WELDABLE. Вибірка сплавів була зроблена з позиції різноманітності хімічних складів (систем легування), які за змістом основних елементів охоплюють широкий діапазон легування.

З огляду на те, що роль в опорі високотемпературної повзучості жароміцних нікелевих сплавів належить, такому структурному параметру, як розмірна невідповідність δ (γ / γ' -місфіт), яке залежить від системи легування, то актуальним є завдання - отримання оптимальної регресійної моделі для розрахунку даної характеристики на основі хімічного складу сплавів даного класу рівновісної кристалізації.

В результаті обробки експериментальних даних і наведених вище суджень, вперше запропоновано співвідношення $K_{\gamma'} = 5 \frac{\sum_{\gamma'} (Al + Ti + Nb + Ta + Hf)}{\sum_{\gamma} (Cr + W + Mo + Re + Co + Ru)}$

(калібрувальний коефіцієнт 5 був визначений емпіричним шляхом) для оцінки механічних властивостей, яке враховує комплексний вплив основних компонентів сплаву. Оскільки розмірна невідповідність параметрів решітки пов'язано зі ступенем концентраційного твердорозчинного зміцнення γ - і γ' -фаз, ефективністю дисперсійного зміцнення сплаву, швидкістю повзучості і іншими властивостями, то співвідношення $K_{\gamma'}$ дозволяє зв'язати ці властивості з багатокомпонентними системами. Встановлено, що розмірна невідповідність δ має параболічні залежності з співвідношеннями:

$$\delta^{20} = 0,1001(K_{\gamma'})^2 - 0,3257(K_{\gamma'}) + 0,4789;$$

$$\delta^{1000} = 0,0953(K_{\gamma'})^2 - 0,3427(K_{\gamma'}) + 0,0325.$$

Показано, що при температурі випробувань 1000°C, залежність меж 100- і 1000-годинний тривалої міцності від величини місфіту оптимально описується отриманими моделями:

$$\sigma_{100}^{1000} = 65,185 K_{\gamma'} + 56,683;$$

$$\sigma_{1000}^{1000} = 57,689 K_{\gamma'} - 26,58$$

Ці залежності показують, що при збільшенні коефіцієнта $K_{\gamma'}$, тривала міцність сплавів зростає прямопропорційно, так як, кількість γ' - утворюючих елементів зростає, а отже, збільшується обсяг γ' - фази в сплаві.

Висновки

На основі емпіричного підходу отримано нове співвідношення $K_{\gamma'}$ за величиною якого можна адекватно прогнозувати розмірну невідповідність δ (γ / γ' -місфіт), межу короткочасної міцності, а також межі 100 і 1000- годинний тривалої міцності для багатокомпонентних композицій. Показано перспективний і ефективний напрямок у вирішенні задачі прогнозування основних характеристик, що впливають на комплекс службових властивостей сплавів як при розробці нових, так і при вдосконаленні складів відомих промислових марок даного класу.

Література

1. [Caron J.L. Weldability of Nickel-Base Alloys / J.L.Caron, J.W.Sowards // Comprehensive Materials Processing. - Volume 6. – 2014 - Pages 151-179. DOI: 10.1016/B978-0-08-096532-1.00615-4](#)
2. [Mahmood Aliofkhaezai Superalloys/ Mahmood Aliofkhaezai – IntechOpen/ 2015. – Pages 835. DOI: 10.5772/59358. ISBN: 978-953-51-2212-8](#)
3. Min, P.G. Modern nickel superalloys and the efficient resource-saving technologies of their production./ Min, P.G., Goryunov, A.V. & Vadeev, V.E.// Russ. Metall- 2015, Pages 1060–1068. <https://doi.org/10.1134/S0036029515130182>.
4. Montakhab, M. Integrated Computational Alloy Design of Nickel-Base Superalloys/ Montakhab, M., Balikci, E// Metall and Mat Trans A. – 2019. - №50, Pages 3330–3342. <https://doi.org/10.1007/s11661-019-05252-7>
5. Naffakh-Moosavy, H. Microstructural evolution and castability prediction in newly designed modern third-generation nickel-based superalloys/ Naffakh-Moosavy, H. // Int J Miner Metall Mater. – 2016. - №23, Pages 548–562. <https://doi.org/10.1007/s12613-016-1266-4>
6. Satyanarayana D.V.V., Eswara Prasad N. Nickel-Based Superalloys/ Satyanarayana D.V.V., Eswara Prasad N// Aerospace Materials and Material Technologies. – 2017- Pages 199-228. https://doi.org/10.1007/978-981-10-2134-3_9
7. Wu, B. Microstructure and stress rupture properties of polycrystal and directionally solidified castings of nickel-based superalloys/ Wu, B., Li, L., Wu, J// Int J Miner Metall Mater. – 2014. - №21, Pages 58–64. <https://doi.org/10.1007/s12613-014-0865-1>