

<https://doi.org/10.15407/plit2024.01.039>

УДК 621.74.045:669.24:21.981

Д.О. Тьомкін*, заступник головного металурга;

e-mail: tajdv678@gmail.com; ORCID 0000-0002-4042-4452

С.М. Данилов*, директор; e-mail: m_zmzmotor@ukr.net;

ORCID 0000-0002-8087-9638

О.О. Педаш**, канд. техн. наук; e-mail: tb.ugmet@motorsich.com;

ORCID0000-0003-1231-9951

О.О. Наумик***, аспірантка; e-mail: enaumyk@gmail.com;

ORCID 0000-0002-1963-1836

В.В. Наумик***, д-р техн. наук, проф., проректор;

e-mail: vnaumyk@gmail.com; naumik@zp.edu.ua; ORCID 0000-0002-0657-4510

*Запорізький машинобудівний завод ім. В.І. Омельченка (Запоріжжя, Україна)

**АТ «Мотор Січ» (Запоріжжя, Україна)

***Національний університет «Запорізька політехніка» (Запоріжжя, Україна)

ВПЛИВ ЗБАЛАНСОВАНOSTІ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ КОНДИЦІЙНОГО ВОРОТТЯ І МОДИФІКУВАННЯ НА ВЛАСТИВОСТІ СПЛАВУ ЖС6У-VI

Досліджено вплив значення сум $Cr+W+Mo$, $Ti+Al$ та модифікування ітрієм кондиційного вороття на механічні властивості й тривалу міцність сплаву ЖС6У-VI. Встановлено, що спосіб рафінування розплаву сплаву ЖС6У-VI впливає на виділення фаз по межах зерен і допускає підвищення вмісту γ' -фази, внаслідок чого можна розглядати припустимість збільшення значення суми $Ti+Al$, ймовірно, до 8,3 %. Освіження кондиційного вороття металу під час проведення переплаву дозволяє керувати хімічним складом металу. Для оптимізації освіження вороття сплаву переплав необхідно проводити в установці, що обладнана модулем відбору проб для визначення хімічного складу сплаву під час ведення плавки. Модифікування сплаву нікель-ітрієвою лігатурою на розрахунковий вміст 0,01 % ітрію в металі дозволяє забезпечити відсутність виділень фаз по межах зерен, зменшує розмір зерен макроструктури. Модифікування підвищує механічні властивості при кімнатній температурі, але знижує тривалу міцність сплаву ЖС6У-VI при підвищених температурах, що є наслідком зменшення розміру макрозерна.

Ключові слова: жароміцний нікелевий сплав, лита лопатка, хімічний склад, вороття, модифікування, структура, механічні властивості, жароміцність.

Відповідальні литі деталі сучасних авіаційних двигунів переважно виготовляють із жароміцних нікелевих сплавів методами рівноосної та спрямованої кристалізації [1–9]. Щоб забезпечити експлуатаційні властивості роторних і статорних деталей

на рівні вимог технічних умов і не перевищити вимоги собівартості деталі, застосовують освіження матеріалу [10]. Так, для виливків робочих лопаток (деталей ротора) освіження складає до 50 %, а для виливків лопаток соплового апарату, секторів лопаток та інших деталей статора — до 20 %, при основній масі кондиційного вороття сплаву в шихті [10].

Інтерес становить можливість використання кондиційного вороття сплаву ЖС6У-ВІ для виготовлення деталей ротора і статора турбіни з мінімізованим освіженням за умови забезпечення збереження механічних та експлуатаційних властивостей литих виробів.

Розплавлений метал у процесі лиття взаємодіє з атмосферою печі, футеровкою тигля, керамічною формою і насичується шкідливими домішками [8, 11, 12]. З елементів блоку виливків утворюється кондиційне повернення сплаву. Унаслідок вищевказаних взаємодій у матеріалі вилівка за участю шкідливих домішок утворюються неметалеві включення у складі евтектики або окремою фазою, які прагнуть виділитися у вигляді полини по межах зерен [8, 11–14]. Також з урахуванням системи легування сплаву по межах зерен може виділятися зміцнююча γ' -фаза у вигляді плів [1–4, 9], що також здатна негативно впливати на механічні та експлуатаційні властивості виливків.

У жароміцних нікелевих сплавах (ЖНС) основні елементи Ti і Al, що утворюють γ' -фазу, перебувають на рівні Ti+Al — близько 4...8 % [1].

Автори робіт [1, 8, 9] показують, що в нікелевих сплавах обмежується допустимий вміст хрому, молібдену, вольфраму, ніобію і танталу.

Дослідження концентраційних областей сучасних ЖНС демонструє, що в них досягнуто максимального вмісту γ' -утворюючих елементів [8]. Надмірне легування нікель-хромистих сплавів феритоутворюючими елементами: хромом, молібденом, вольфрамом, титаном і алюмінієм, призводить до появи двофазності ($\gamma+\alpha$) й утворення σ -фази та інших фаз несприятливої морфології, що різко погіршує жаростійкість ЖНС [9].

У роботах [1–4, 8] зазначено, що водночас W, Mo, Cr беруть участь у зміцненні ЖНС. Так, W підвищує термостабільність γ' -фази, знижує дифузійні процеси при високих температурах [1–4, 8]. Mo підвищує стабільність сполуки Ni_3Al , уповільнює дифузію алюмінію в γ -твердому розчині, коагуляцію інтерметалідної фази і тим самим підвищує жароміцність нікелевого сплаву [1–4, 8, 9]. Зниження вмісту Cr призводить до зниження жаростійкості сплавів [1–4, 8, 9]. Встановлено [10], що використання модифікування сплаву нікель-ітрієвої лігатурою дозволяє забезпечити формування меж зерен без видимих виділень та забруднень. Карбіді в цьому випадку мають глобулярну та пластинчасту морфологію.

Мета роботи — дослідити вплив значення сум Cr+W+Mo, Ti+Al та модифікування ітрієм кондиційного вороття на механічні властивості й тривалу міцність сплаву ЖС6У-ВІ.

Матеріали та методика досліджень

Хімічний склад та особливості виплавки металу дослідних плавок сплаву ЖС6У-ВІ наведені в табл. 1.

У цій роботі здійснено порівняння характеристик зразків, представлених у матеріалах [10], зі знову проведеними дослідженнями. Варіанти 6УІ та 6УТ були залиті зі злитків кондиційного технологічного вороття сплаву ЖС6У-ВІ з використанням високотемпературної обробки розплаву (ВТОР). Розплав нагрівали до температури, що перевищує температуру ліквідус на (385...400) °С. При заливанні керамічної форми зразків 6УІ проводилося модифікування нікель-ітрієвою лігатурою марки ІтН1 із вмістом ітрію 12,3 % кількістю 0,136 % від навішування шихти в тиглі з витримкою 1 хв 15 с ... 1 хв 30 с. Заливання керамічної форми зразків для випробувань варіанта 6УТ проводилася без модифікування [10]. При знову проведених дослідженнях заливка зразків для випробувань варіантів УТ-1, УІ-1, УІ-2 проводилася з одного зливка (умовне позначення У-1) переплаву кондиційного вороття сплаву ЖС6У-ВІ.

Переплав кондиційного вороття сплаву ЖС6У-ВІ здійснювався у вакуумній плавильній установці ІСВ-0,16 за такою технологією:

Таблиця 1
Хімічний склад та особливості виплавки металу дослідних плавок сплаву ЖС6У–ВІ

Варіант	Вміст елементів, % за масою										Особливості виплавки
	C	Cr	Co	W	Al	Ti	Mo	Nb	Al+ Ti	Cr+ W+ Mo	
6УТ	0,16	8,9	9,7	10,4	5,51	2,65	1,6	1,08	8,16	20,9	ВТОР. Без освіження. Без модифікування
6УІ	0,185	8,83	9,8	10,4	5,55	2,65	1,9	1,0	8,2	21,13	ВТОР. Без освіження. $Y_{розр.} = 0,01 \%$
У-1	0,15	8,70	10,01	9,74	5,75	2,45	1,85	0,95	8,2	20,29	Вихідний зливок від переплаву вороття
УТ-2	0,175	8,70	9,55	10,16	5,76	2,53	1,86	1,00	8,29	20,72	Без освіження Без модифікування
УІ-1	0,195	8,35	9,68	10,09	5,75	2,55	1,93	0,96	8,3	20,37	Освіження 0,2 %. $Y_{расч.} = 0,01 \%$
УІ-2	0,170	8,04	9,06	9,77	5,60	2,51	2,10	0,82	8,11	19,91	Освіження 5,5 %. $Y_{расч.} = 0,01 \%$
Норми ОСТ 1.90126-85	0,13–0,20	8,0–9,5	9,0–10,5	9,5–11,0	5,1–6,0	2,0–2,9	1,2–2,4	0,8–1,2	7,8–8,2	20,2–20,8	–

- створення глибини вакууму 10^{-3} мм рт. ст.;
- нагрівання розплаву у вакуумі до температури, що перевищує температуру, ліквідус на 220 °С; витримка за цієї температури протягом 15...20 хв;
- охолодження розплаву до температури 1440...1480 °С;
- заливання металу в кокіль.

Отриманий зливок (У-1) розрізали на мірні шихтові заготовки та очистили в дробометному барабані.

Кристалізація та структуроутворення сплавів

Результати розрахунків освіження (вихідних шихтових компонентів), проведених виходячи з хімічного складу зливка У-1, і підготовлених навішувань для заливання керамічних форм з урахуванням дотримання сум $\text{Cr}+\text{W}+\text{Mo}$ і $\text{Ti}+\text{Al}$, наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Склад шихти для дослідних плавів, % за масою

Варіант	УІ-1	УІ-2
Зливок ЖС6К-ВІ (У-1)	99,8	94,5
Вольфрам штабик	—	0,502
Нікель марки Н1У	0,034	4,132
Хром марки Х99Н1	—	0,5
Кобальт марки К1Ау	—	0,151
Вуглець, бій графітованих електродів марки ГЕ	0,03	0,022
Лігатура нікель-ітрій марки ІтН-1	0,136 (вміст ітрію в лігатурі 12,3 %)	0,193 (вміст ітрію в лігатурі 8,3 %)
Освіження від маси металозавалювання в тиглі, %	0,2	5,5

Примітка. Лігатуру нікель-ітрій вводили на рідкий метал перед заливкою.

На установці УППФ-3М методом рівноосної кристалізації в керамічних формах відливали зразки для випробувань. Заливання керамічних форм варіантів УІ-1 та УІ-2 проводили за такою технологією:

- після завершення завантаження тигля створили технологічне розрядження 10^{-3} мм рт. ст.;
- розплав нагріли до температури $1620\ldots 1650$ °С і провели витримку при цій температурі 4...6 хв;
- розігріли розплав до температури $1540\ldots 1550$ °С та ввели навішування нікель-ітрієвої лігатури марки ІтН-1 з подальшою витримкою 1хв 15 с... 1хв 30 с до заливання металу у форму.

Заливання керамічних форм варіантів УТ-2 проводили без модифікування за технологією:

- після створення в печі технологічного розрядження розрядження 10^{-3} мм рт. ст. розплавляли та розігріли метал до температури $1560\ldots 1580$ °С, довели температуру металу до $1540\ldots 1550$ °С і залили метал у керамічну форму.

Охолодження всіх залитих блоків проводили на плавильній ділянці з нормальною температурою навколишнього середовища. Визначення хімічного складу зразків, зокрема Ti , Al , Cr , W , Mo , проводили спектральним методом на приладі SPECTROLAB 10M. Визначення вуглецю проводили хімічним методом на приладі АН-7529. Термообробку зразків проводили згідно з ОСТ 1.90126-85: нагрівання до температури 1210 ± 10 °С, витримка протягом 4 год, охолодження на повітрі.

Результати та обговорення

У табл. 1 і 3 подано дані, отримані за результатами проведених досліджень металу дослідних плавів:

- зразків відлитих зі зливків кондиційного технологічного вороття сплаву ЖС6У-ВІ, отриманих із використанням технології ВТОР (варіанти 6УТ, 6УІ) [10];
- зразків варіантів УТ-2, УІ-1, УІ-2, відлитих зі зливка У-1 переплаву кондиційного технологічного вороття сплаву ЖС6У-ВІ.

Проаналізувавши дані, наведені в табл. 1 і 3, можна сказати, що варіанти 6УТ і 6УІ мають підвищене значення суми $\text{Cr}+\text{W}+\text{Mo}$ — 20,9 і 21,13 % і значення суми $\text{Ti}+\text{Al}$ — 8,16 і 8,2 % відповідно.

Металографічними дослідженнями на зразках 6УТ виявлено локальні потовщення меж зерен, грубі виділення по межах зерен карбідної фази.

Таблиця 3

Механічні властивості і тривала міцність металу дослідних плавів

Варіант	Механічні властивості при 20 °С				Час до руйнування, при 975 °С, під навантаженням 230 МПа, t_p , год.	
	σ_B , МПа		d , %			
	поточне	середнє	поточне	середнє	поточне	середнє
6УТ	1045 1055	1050	6,0 9,6	7,5	69,0 59,5 50,0	59,43
6УІ	1126 934	1030	11,2 4,0	7,6	68,0 55,0 40,0	54,33
УТ-2	974 1029 1040	1014	8,0 14,0 8,0	15	82,0 87,5 74,8	81,25
УІ-1	1050 1045 1064	1053	8,8 6,8 6,8	11,2	58,0 60,3 51,5	56,48
УІ-2	1090 1074 1029	1064	8,0 8,0 7,4	11,7	72,7 79,4 87,4	79,6
Норми ОСТ 1.90126-85	≥85,0	—	≥ 3,0	—	≥ 40,0	—

Зразки 6УІ, модифіковані ітрієм, по межах зерен виділень не мають [9], при цьому значення сум Cr+W+Mo і Ti+Al, середні значення тимчасової міцності й тривалої міцності вищі у варіанта 6УТ.

У зразках УТ-2 та УІ-1, УІ-2 по межах зерен виділення фаз не виявлені.

Зразки варіантів 6УТ і 6УІ були відлиті зі зливків, виплавлених із кондиційного технологічного вороття сплаву ЖС6У-ВІ з використанням рафінування розплаву методом ВТОР [10]. При проведенні ВТОР досягається друга точка рівноважного стану розплаву, при якій розчиняється переважна більшість тугоплавких включень, а також починається руйнування кластерів.

Зразки варіанта УТ-2 були відлиті зі зливка У-1, отриманого рафінуванням розплаву методом переплаву кондиційного технологічного вороття металу ЖС6У-ВІ. При проведенні переплаву сплаву досягається перша точка рівноважного стану розплаву, при якій багато тугоплавких включень залишаються в розплаві. Ці тугоплавкі включення, будучи центрами кристалізації, знижують вільну енергію розплаву, що, ймовірно, призводить до гальмування виділень по межах зерен, що, можливо, дозволяє знизити вплив суми Ti+Al.

При переплаві кондиційного вороття необхідно керувати хімічним складом в допустимих межах сум Cr+W+Mo і Ti+Al. Управління хімічним складом можливе при використанні освіження вихідними шихтовими матеріалами матриці кондиційного повернення сплаву.

Аналіз варіанта УІ-1 показав, що освіження на 0,2 % є недостатнім, оскільки сума Ti+Al складає 8,3 %, а механічні властивості і тривала міцність перебувають на рівні варіантів 6УТ, 6УІ.

Варіант УІ-2 з освіженням 5,5 % є кращим, оскільки має найбільше середнє значення механічних властивостей ($\sigma_B = 1064$ МПа, $d = 11,7$ %), проте середнє значення тривалої міцності ($t_p = 79,6$ год) поступається середньому значенню тривалої міцності контрольного варіанта УТ-2 ($t_p = 81,25$ год).

Зниження середньої тривалої міцності варіанта УТ-2 пов'язане з наслідками модифікування.

На рис. 1 показана макроструктура в поперечному перерізі нижньої частини ливників варіантів УТ-2, УІ-1, УІ-2 зі сплаву ЖС6У-ВІ. Встановлено, що розмір рівно-

осного макроструктури фрагментів ливників варіантів модифікування УІ-1 і УІ-2 становить ~2,0...4,5 мм (рис. 1, а, б), а варіанта без модифікування УТ-2 – ~2,5 ... 8,0 мм (рис. 1, в).

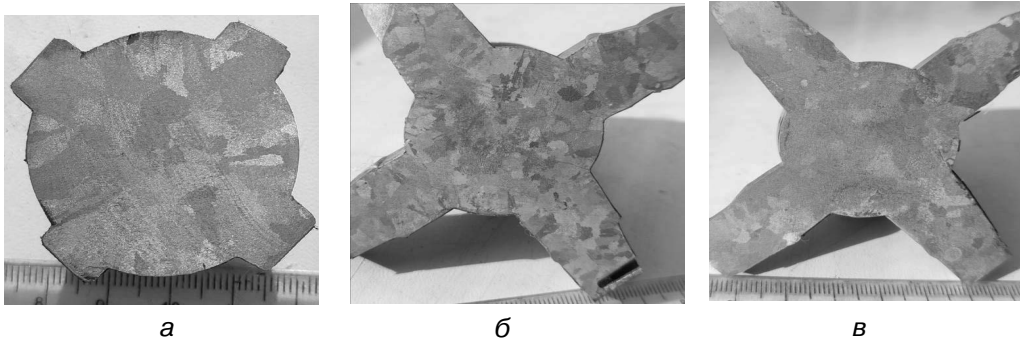


Рис. 1. Макроструктура в поперечному перерізі нижніх частин ливників зі сплаву ЖС6У-ВІ різних варіантів: а — УТ-2; б — УІ-1; в — УІ-2

Відомо [9], що при кімнатних і знижених температурах випробування характеристики міцності сталей і сплавів вищі у сплавів із дрібнішим зерном. При більш високих температурах сплави з крупнозернистою структурою показують кращу тривалу міцність (рис 2.).

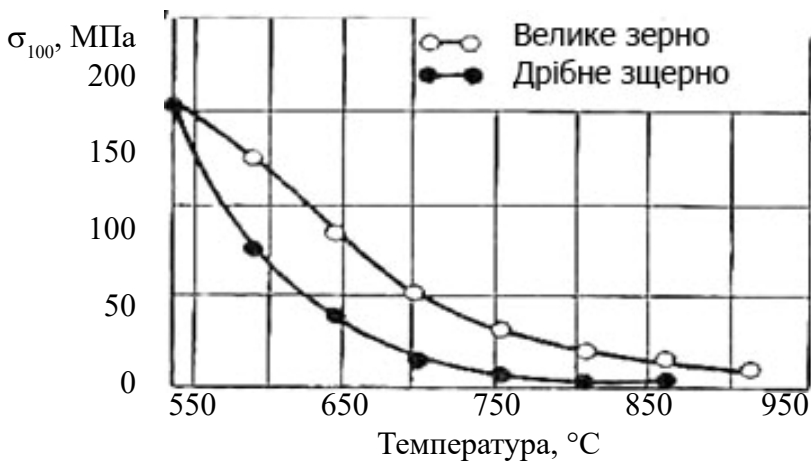


Рис. 2. Вплив величини зерна на 100 год тривалу міцність сталі типу 25–20 [9]

Водночас для варіанта УІ-2 значення суми $\text{Cr}+\text{W}+\text{Mo} = 19,91\%$ нижче за допустиму межу, що може свідчити про недостатнє зміцнення сплаву.

Висновки

Спосіб рафінування розплаву сплаву ЖС6У-ВІ впливає на виділення фаз по межах зерен і допускає підвищення вмісту γ' -фази, унаслідок чого можна розглядати припустимість збільшення значення суми $\text{Ti}+\text{Al}$, ймовірно, до 8,3 %.

Освіження кондиційного вороття металу під час проведення переплаву дозволяє керувати хімічним складом металу.

Для оптимізації освіження вороття сплаву переплав необхідно проводити в установці, що обладнана модулем відбору проб для визначення хімічного складу сплаву під час ведення плавки.

Модифікування сплаву нікель-ітрієвою лігатурою на розрахунковий вміст 0,01 % ітрію в металі дозволяє забезпечити відсутність виділень фаз по межах зерен, зменшує розмір зерен макроструктури.

Модифікування підвищує механічні властивості при кімнатній температурі, але знижує тривалу міцність сплаву ЖС6У-ВІ при підвищених температурах, що є наслідком зменшення розміру макрозерна.

Список літератури

- 1 Satyanarayana D.V.V., Prasad N.E. Nickel-based superalloys — Aerospace Materials and Material. Vol. 1: Aerospace Materials, 2017. P. 199–228.
- 2 Erickson G.L. The Development of the CMSX-11B and CMSX-11C Alloys for Industrial Gas Turbine Application. *Superalloys*. 1996. P. 45–52.
- 3 Michels H.T., Friend W.Z. Nickel-Base Superalloys. *Corrosion of Nickel and Nickel-Base Alloys*. New York, 1980. P. 435–449.
- 4 Симс Ч.Т. Суперсплавы II: Жаропрочные материалы для аэрокосмических и промышленных энергоустановок: В 2-х кн. / Под ред. Ч.Т. Симса, Н.С. Столоффа, У.К. Хагеля; Пер. с англ. под ред. Р.Е. Шалина. Москва: Металлургия, 1995. Кн. 1. 384 с.; Кн. 2. 384 с.
- 5 Sanchugov Y.L., Koval A.D., Belikov S.B. Some peculiarities of alloying of nickel superalloys resistant to high-temperature corrosion. *NACE — International Corrosion Conference Series*, 2012, 4. P. 3435–3438.
- 6 Ажажа В.М., Свердлов В.Я., Кондратов А.А. и др. Влияние условий кристаллизации на макроскопический фронт кристаллизации и структурное совершенство монокристаллов Ni-сплавов. *Вестник ХНУ*. 2007. № 781. Вып. 3(35). С. 73–80.
- 7 Tsivirko, É.I., Zhemanyuk, P.D., Klochikhin, V.V., Naumik, V.V., Lunev, V.V. Crystallization processes, structure and properties of castings from high-temperature nickel alloys. *Metal Science and Heat Treatment*. 2001. № 43 (9–10). P. 382–386.
- 8 Каблов ЕН. Литые лопатки газотурбинных двигателей (сплавы, технология, покрытия). Москва: «МИСИС», 2001. 632 с.
- 9 Химушин Ф.Ф. Жаропрочные стали и сплавы. Москва: Металлургия, 1969. 748 с.
- 10 Тьомкін Д.О., Ключихін В.В., Данілов С.М., Педаш О.О., Наумик О.О., Наумик В.В. Вплив модифікування ітрієм на структуру і властивості виливків, отриманих з вороття сплаву ЖС6У-ВІ. *Нові матеріали і технології в металургії та машинобудування*. 2022. № 2. С. 50–56.
- 11 Klochikhin V., Naumyk V. Improvement of technological processes obtaining a heat-resistant nickelalloys for turbine blades using foundry return. *MS and T 2019. Materials Science and Technology*. 2019. P. 1454–1458.
- 12 Богуслаев В.О., Балушок К.Б., Ключихін В.В. та ін. Ресурсозберігаючі технології виробництва литва для авіаційного двигунобудування. Монографія. Запоріжжя: АТ «Мотор Січ», 2021 р. 197 с.
- 13 Беликов С.Б. Влияние некоторых легирующих элементов на коррозионную стойкость никелевых сплавов при высоких температурах. *Энергомашиностроение*. 1980. № 11. С. 27–28.
- 14 Greshta V.L. Structural liability of sheet rolled corrosion-resistant ferritic steels to a plastic deforming. *Metallfizika i Noveishie Tekhnologii*. 2017. № 39(9). P. 1213–1225.

Надійшла 30.01.2024

References

- 1 Satyanarayana D.V.V., Prasad N.E. Nickel-based superalloys – Aerospace Materials and Material. Vol. 1: Aerospace Materials, 2017. P. 199–228.
- 2 Satyanarayana D.V.V., Prasad N.E. Nickel-based superalloys – Aerospace Materials and Material. Vol. 1: Aerospace Materials, 2017. P. 199–228 [in Russian].

- 3 Michels H.T., Friend W.Z. Nickel-Base Superalloys. *Corrosion of Nickel and Nickel-Base Alloys*. New York, 1980. P. 435–449.
- 4 Sims C.T. Superalloys II: Heat-resistant materials for aerospace and industrial power plants: In 2 books. / Ed. C.T. Simsa, N.S. Stoloff, W.K. Hage-lya; Per. from English edited by R.E. Shalina. Moscow: Metallurgy, 1995. Book. 1. 384 pp.; Book 2. 384 p [in Russian].
- 5 Sanchugov Y.L., Koval A.D., Belikov S.B. Some peculiarities of alloying of nickel superalloys resistant to high-temperature corrosion. *NACE – International Corrosion Conference Series*, 2012, 4. P. 3435–3438.
- 6 Azhazha V.M., Sverdlov V.Ya., Kondratov A.A. and others. Influence of crystallization conditions on the macroscopic crystallization front and structural perfection of Ni-alloy single crystals. *Vestnik KhNU*. 2007. No. 781. Issue. 3(35). P. 73–80. [in Russian].
- 7 Tsivirko, É.I., Zhemanyuk, P.D., Klochikhin, V.V., Naumik, V.V., Lunev, V.V. Crystallization processes, structure and properties of castings from high-temperature nickel alloys. *Metal Science and Heat Treatment*. 2001. № 43 (9–10). P. 382–386.
- 8 Kablov EN. Cast blades of gas turbine engines (alloys, technology, coatings). Moscow: «MYSIS», 2001. 632 p [in Russian].
- 9 Khimushyn F.F. Heat-resistant steels and alloys. Moscow: Metallurgy, 1969. 748 p. [in Russian].
- 10 Tomkin D.O., Klochikhin V.V., Danilov S.M., Pedash O.O., Naumyk O.O., Naumyk V.V. The influence of yttrium modification on the structure and properties of castings obtained from the gate of the ЖС6У-ВІ alloy. New materials and technologies in metallurgy and mechanical engineering. 2022. No. 2. P. 50–56 [in Ukrainian].
- 11 Klochikhin V., Naumyk V. Improvement of technological processes obtaining a heat-resistant nickelalloys for turbine blades using foundry return. MS and T 2019. *Materials Science and Technology*. 2019. P. 1454–1458.
- 12 Boguslaev V.O., Balushok K.B., Klochikhin V.V. etc. Resource-saving technologies of production in Lithuania for aircraft engine construction. Monograph. Zaporizhzhia: JSC «Motor Sich», 2021. 197 p.
- 13 Belykov S.B. The influence of some alloying elements on the corrosion resistance of nickel alloys at high temperatures. *Power engineering*. 1980. No. 11. P. 27–28 [in Russian].
- 14 Gresha V.L. Structural liability of sheet rolled corrosion-resistant ferritic steels to a plastic deforming. *Metallofizika i Noveishie Tekhnologii*. 2017. № 39(9). P. 1213–1225.

Received 30.01.2024

D. Tomkin*, Deputy Chief; e-mail: tajdv678@gmail.com;

ORCID 0000-0002-4042-4452

S. Danilov*, Director; e-mail: Dankar1378@ukr.net; ORCID 0000-0002-8087-9638

O. Pedash**, PhD (Engin.), Senior Researcher; e-mail: alexpedash@gmail.com;

ORCID0000-0003-1231-9951

O. Naumyk***, Postgraduate; e-mail: enaumyk@gmail.com;

ORCID 0000-0002-1963-1836

V, Naumyk***, Dr.Sci. (Engin.), Professor; e-mail: vnaumyk@gmail.com;

naumik@zp.edu.ua; ORCID 0000-0002-0657-4510

*Zaporizhzhia Machine-Building Plant named after V.I. Omelchenko, «Motor Sich» (Zaporizhzhia, Ukraine)

**Department head Joint Stock Company «Motor Sich» (Zaporizhzhia, Ukraine)

***Zaporizhzhia Polytechnic National University (Zaporizhzhia, Ukraine)

INFLUENCE OF CONDITIONAL RETURN CHEMICAL COMPOSITION AND MODIFICATION BALANCE ON THE PROPERTIES OF ZHS6U-VI ALLOY

Кристалізація та структуроутворення сплавів

The influence of the Cr+W+Mo, Ti+Al values and yttrium modification of the condition return on the mechanical properties and long-term strength of the ЖС6У-ВІ alloy was studied. It was established that the method of ЖС6У-ВІ alloy melt refining affects the separation of phases along the grain boundaries and allows an increase in the content of the γ' -phase, as a result of which it is possible to consider the admissibility of increasing the value of the Ti + Al sum, probably up to 8.3%. Refreshing the condition return during remelting allows you to control the chemical composition of the metal. To optimize the refreshing of the alloy, remelting must be carried out in an installation equipped with a sampling module to determine the chemical composition of the alloy during melting. Modification of the nickel-yttrium alloy with estimated 0.01% yttrium content in the metal makes it possible to ensure the absence of phase separation along the grain boundaries, reduces the grain size of the macrostructure. The modification increases the mechanical properties at room temperature, but reduces the long-term strength of the ЖС6У-ВІ alloy at high temperatures, which is a consequence of the reduction of the macrograin size.

Keywords: heat-resistant nickel alloy, cast blade, chemical composition, return, modification, structure, mechanical properties, heat resistance.

ШАНОВНІ ЧИТАЧІ!

Передплата журналу

«Процеси лиття»

здійснюється через редакцію.

Журнал виходить 4 рази на рік.

Для отримання журналу з будь-якого числа

необхідно надіслати лист-запит

на адресу: 03142, р. Київ-142

б-р Вернадського, 34/1,

ФТИМС НАН України з позначкою

журнал «Процеси лиття» або

факсом: (044) 424-35-15; e-mail: proclit@ptima.kiev.ua.

Рахунок-фактуру згідно із запитом редакція

надсилає листом, факсом або на e-mail.

Вартість одного журналу — 200 грн.

Річна передплата з урахуванням

поштових витрат — 880 грн (для України).