

К.В. Обносів¹, П.П. Шабанов¹, В.Л. Грешта², О.А. Глотка², В.О. Колесніков³

¹Державний науково-дослідний інститут авіації, Київ

²Національний університет “Запорізька політехніка”, Запоріжжя

³Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка Національної академії наук України, Львів

УДОСКОНАЛЕННЯ ТОНКОЇ СТРУКТУРИ ЖАРОМІЦНОГО НІКЕЛЕВОГО СПЛАВУ ДЛЯ ГАРЯЧОГО ТРАКТУ ТУРБІНИ АВІАЦІЙНОГО ДВИГУНА

У статті наведено методичний підхід щодо встановлення залежностей між хімічним та фазовим складом жароміцного сплаву на нікелевій основі ВЖЛ 12, який використовується в газотурбобудуванні. Як основною ознакою стійкості деталей було встановлено залежності між кількістю легуючих елементів та жароміцністю (довготривалою міцністю) сплаву. При цьому, для вказаних легуючих елементів були встановлені межі легування та показані зміни у складі зміцнюючої фази і параметрів кристалічних ґраток. Також запропоновано математичні моделі, які описують вище згадані процеси.

За результатами теоретично отриманих моделей було проведено розрахунок промислового сплаву системи Ni-Al-Cr-Co-W-Mo-Ti-Nb-Ce-Zr-B-La. Розрахункові дані порівнювали з результатами, отриманими при енергодисперсійному аналізі на растровому електронному мікроскопі РЕМ-106І. Аналіз отриманих результатів порівнянь показав гарну збіжність розрахункових і практично отриманих даних. Рекомендовано дану методику використовувати в промисловості для зниження кількості дослідів.

Ключові слова: жароміцний нікелевий сплав, легуючі елементи, фазовий склад, структура, кристалічна ґратка.

Вступ

Постановка проблеми. Суперсплави на основі нікелю є винятковим класом конструкційних матеріалів для високотемпературних деталей, особливо у складних умовах турбінних секцій авіаційних двигунів. Постійне покращення властивостей цих матеріалів стало можливим завдяки ретельному контролю хімічного складу та мікроструктури, а також впровадженню передових технологій обробки. На сьогоднішній день розроблено шість поколінь суперсплавів на основі нікелю з покращеними властивостями повзучості та фазовою стабільністю. Еволюція вдосконалених суперсплавів на основі нікелю — це нескінченний процес, і їхня заміна для газотурбінних двигунів, мабуть, неможлива, принаймні протягом ще кількох десятиліть.

Аналіз останніх досліджень і публікацій свідчить, що використання матеріалів для розвитку авіабудування, є високовартісним. Проведені раніше дослідницькі роботи дали можливість визначити оптимальний вміст легуючих тугоплавких металів (Mo, W, Nb, Ta, Re,) та їх комплексний вплив на жароміцні сплави на нікелевій основі [1...7]. Внаслідок цього вдалося знизити вміст хрому до (12,0...13,2) % мас без втрати рівня корозійної стійкості, зберегти фазово-

структурну стабільність та міцнісні характеристики сплаву відповідно до вимог сертифікаційних документів на робочі лопатки тривалого ресурсу роботи (25000...30000) год, що експлуатуються у продуктах згоряння дизельного палива та природного газу [8...12].

Отже, вирішення проблеми вдосконалення хімічного та фазового складу жароміцних нікелевих сплавів є **актуальним науково-технічним завданням**.

Мета статті — встановити залежності між хімічним та фазовим складом у системі Ni-Al-Cr-Co-W-Mo-Ti-Nb-Ce-Zr-B-La для збільшення ресурсу роботи деталей гарячого тракту.

Виклад основного матеріалу

Для отримання залежностей типу “хімічний склад- властивості” здійснювали математичне моделювання термодинамічних процесів утворення фаз для системи Ni-Al-Cr-Co-W-Mo-Ti-Nb-Ce-Zr-B-La, в якій змінювали покроково γ' -утворюючі елементи в межах, наведених у таблиці 1. У системі багатокомпонентного легування, діапазон варіювання елементами був вибраний з міркувань максимальної та мінімальної кількості елемента, що вводиться в жароміцні нікелеві сплави (ЖНС). Зміни фазового складу у процесі кристалізації (охладження) у структурі сплавів здійснювалося

методом термодинамічного моделювання за допомогою CALPHAD методу.

Діапазон варіювання вмісту γ' -утворюючих елементів у системі Ni-Al-Cr-Co-W-Mo-Ti-Nb-Ce-Zr-B-La наведений в таблиці 1.

Таблиця 1
Діапазон варіювання вмісту хімічних елементів

Вміст елементу, % за масою	
Ti	Al
1...9	1...6

Джерело: розроблено авторами

Моделювання процесів дозволяє провести розрахункове прогнозування та порівняльну оцінку впливу легуючих елементів на склад γ - і γ' -фаз, на їх розподіл та фазовий склад у досліджуваних композиціях.

Моделювання процесу кристалізації сплаву здійснювалося від температури рідкого стану (1600 °C) до кімнатної температури (20 °C) з температурним кроком 10°C по всьому діапазону, що дозволило визначити температурну послідовність виділення фаз у процесі кристалізації.

Розрахунки проводилися за вихідним хімічним складом сплаву з визначенням найбільш ймовірних фаз, а також їх хімічного складу після моделювання процесу кристалізації. Отримані залежності мають досить високі коефіцієнти детермінації $R^2 \geq 0,9$ і можуть використовуватись для прогнозування розрахунків.

Експериментальний сплав було отримано на установці УППФ у спеціальних керамічних блоках. Перед заливкою розплав витримувався в тиглі при температурі перегріву металу 1620 °C протягом (8...10) хвилин. Заливання зразків проводилося за наступних параметрів: температура заливки 1580 °C; температура нижнього нагрівача 1610 °C; температура верхнього нагрівача 1580 °C.

Експериментально склад фаз визначали на растровому електронному мікроскопі РЕМ-1061 із системою енергодисперсійного рентгеноспектрального мікроаналізу. Даним методом вивчали морфологію і хімічний склад фаз, що виділилися в структурі сплаву. Для перевірки теоретичних залежностей було обрано промисловий монокристалічний сплав ВЖЛ 12, який відноситься до досліджуваної системи, хімічний склад цього сплаву наведений в таблиці 2.

Таблиця 2

Хімічний склад сплаву

Вміст елементу, % за масою									
Cr	Mo	W	Co	Nb	Ti	Al	Ce	B	La
8.5...	2.7...	1.0...	8.0...	0.5...	4.2...	5.0...	0.015	0.015	0.01
10.0	3.4	1.8	10.0	1.0	4.7	5.7			

Джерело: розроблено авторами

Кількісний аналіз значень здійснювався автоматично за програмою приладу. Відносна похибка методу становить $\pm 0,1$ % (за масою).

Основними елементами, які утворюють зміцнюючу γ' фазу, в системі Ni-Al-Cr-Co-W-Mo-Ti-Nb-Ce-Zr-B-La є алюміній і титан. Теоретична частина роботи була заснована на моделюванні процесів впливу вмісту елементів у системі на хімічний склад γ - та γ' - фаз, кількість γ' - фази та вплив фазового складу на властивості.

Утворення фаз у системі значно впливатиме на властивості сплаву. При введенні алюмінію до 1,5 % у системі утворюються дві фази: твердий розчин і карбід. Тільки при перевищенні 1,5 % алюмінію у сплаві утворюється зміцнююча фаза у кількості 1,1 %. Зі збільшенням алюмінію у сплаві, кількість γ' - фази зростає до 89 % при вмісті алюмінію 7,6 % у сплаві. Подальше збільшення кількості алюмінію у сплаві не призводить до зростання кількості зміцнюючої фази. Однак, при 6,95 % алюмінію у сплаві утворюється μ -фаза, яка знижує характеристики пластичності. Отримані залежності між фізичними і фазовими складами наведені на рис. 1, а).

Збільшення кількості алюмінію у сплаві призводить до збільшення його у складі зміцнюючої фази та зменшення титану (Рис. 1, 2).

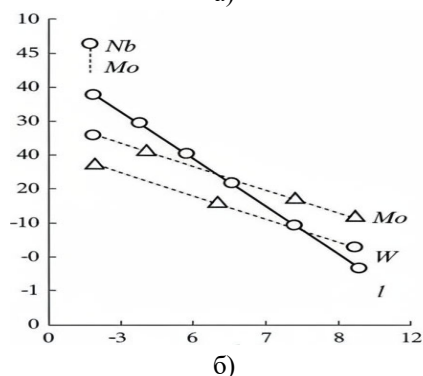
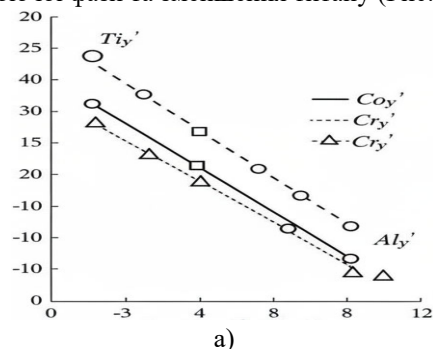


Рис. 1. Вплив кількості алюмінію: а) – γ' - фази зростає; б) – W, MO не утворюють γ' - фази

Джерело: розроблено авторами

Інші елементи, такі як кобальт та хром, також збільшують свою концентрацію у зміцнюючій фазі. Молібден і вольфрам є елементами, які не беруть участі в утворенні γ' - фази (Рис. 1, б), однак, вони

впливають на стійкість фази до високих температур. Їх кількість збільшується зі збільшенням легування фази алюмінієм. Ніобій при цьому знижує концентрацію приблизно 0,5 %, що мало впливає на властивості. Кількість γ' -фази в сплаві при 1 % Ti становить 28 %, що дає системі початковий рівень міцності. Крім цього, в сплаві присутні карбіди типу MC і $M_{23}C_6$, які так само підвищують міцність. Збільшення кількості титану в системі призводить до зростання кількості зміцнюючої фази (Рис. 2, а), що підвищує міцність. Проте, при вмісті 6,4 % Ti у системі утворюється (σ - фаза), що має форму пластин і значно знижує властивості міцності сплаву. Збільшення кількості титану в сплаві призводить до зниження концентрації алюмінію, вольфраму, молібдену та ніобію в γ' -фазі (Рис.2, б).

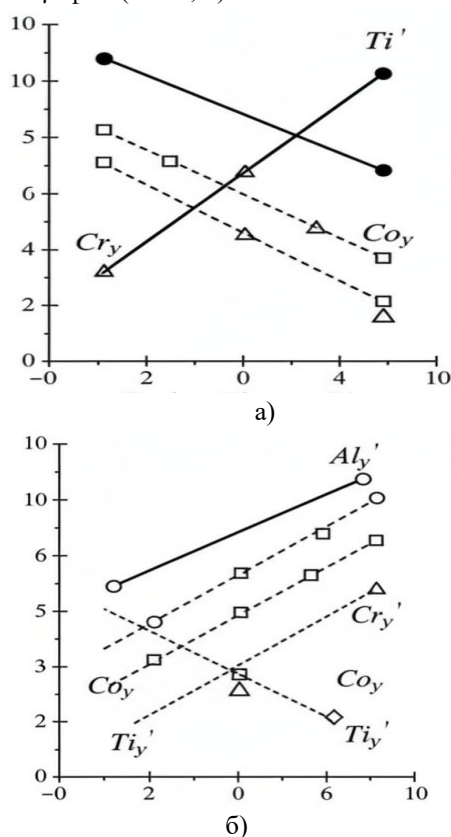


Рис. 2. Вплив кількості титану на хімічний склад γ' - фази
а) – зростання γ' -фази; б) – зниження γ' -фази
Джерело: розроблено авторами

Таким чином, γ' - фаза збільшує у своїй основі кількість титану, кобальту та хрому. Інші легуючі елементи практично не змінюють свою присутність як у γ' - фазі, так і в γ - твердому розчині.

Отримані вище залежності можна подати у вигляді 3D діаграми для основних фаз системи (Рис. 3), яка узагальнено показує, як впливає кількість елементів на температури утворення фаз. Таке уявлення дає розуміння, при яких температурах почнуть утворюватися вторинні фази

і дає можливість коригувати температури термічної обробки (або її коригування для існуючих сплавів).

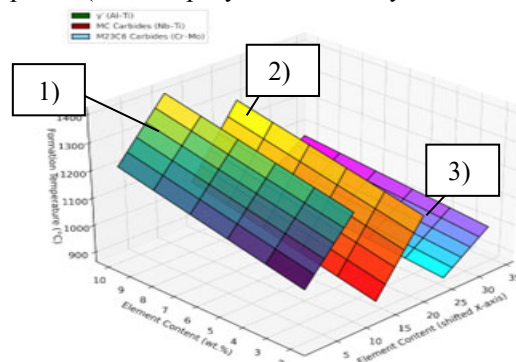


Рис. 3. 3D-діаграма залежності температур утворення фаз від вмісту ключових легуючих елементів
1) – γ' (Al-Ti);
2) – карбідів MC (Nb-Ti);
3) – карбідів $M_{23}C_6$ (Cr-Mo)
Джерело: розроблено авторами

Зміна параметрів кристалічних решіток γ' - і γ - фаз показано на рис.4, а), їх співвідношення (невідповідність) при температурі 20 °C показано на рис. 4, б).

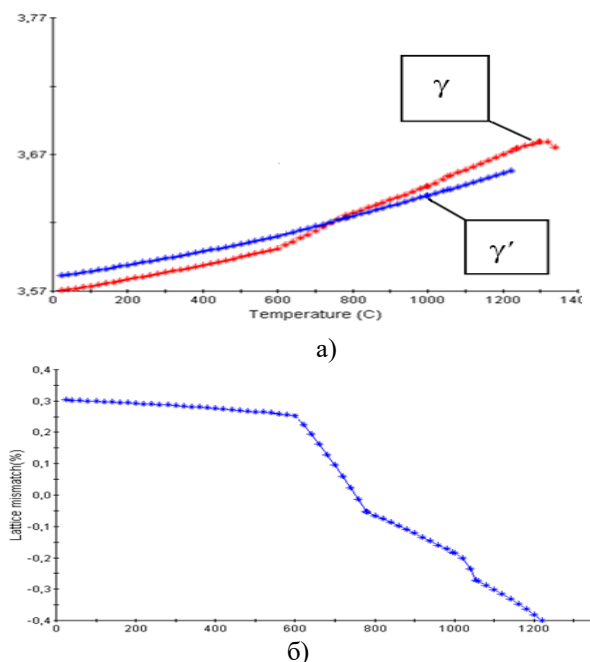
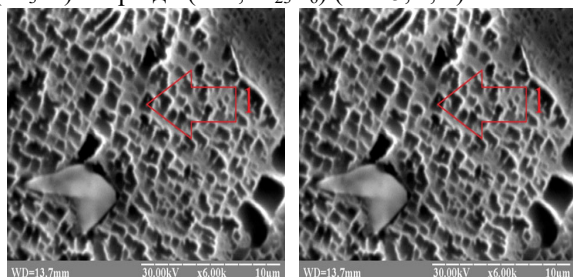


Рис. 4. Зміна параметрів решітки температури випробування а) – γ' - і γ - фаз;
б) – невідповідність γ' - і γ - фаз при температурі 20 °C
Джерело: розроблено авторами

Зі збільшенням температури збільшуються параметри ґраток γ' - і γ -фаз, що зумовлено збільшенням процесів дифузії та внутрішнього коливання атомів. При температурі (700...800) °C у сплаві спостерігається співпадіння параметрів кристалічних ґраток. У свою чергу, невідповідність

знижується при підвищенні температури, що повинно сприяти підвищенню високотемпературних властивостей сплаву. Однак, не потрібно забувати про те, що зі збільшенням легування зростає ймовірність утворення крихких фаз, які знижують механічні властивості сплаву. В системі Ni-Al-Cr-So-W-Mo-Ti-Nb-Se-Zr-B-La, в залежності від вмісту легуючих елементів можливе утворення безлічі фаз, але для цієї системи залишаються такі основні фази: γ - твердий розчин; евтектика $\gamma+\gamma'$; інтерметалід типу γ' на основі (Ni_3Al) і карбіди (MC , M_{23}C_6) (Рис.5, а, б).



а) б)

Рис. 5 Мікроструктура та точки хімічного аналізу сплаву ВЖЛ 12:

- а) – γ - твердий розчин; евтектика $\gamma+\gamma'$; інтерметалід типу γ' на основі (Ni_3Al);
б) – карбіди (MC , M_{23}C_6)

Джерело: розроблено авторами

У практичній частині роботи, отримані вище види залежності, проходили апробацію на промисловому жаротривкому нікелевому сплаві ВЖЛ 12. За допомогою енергодисперсійного аналізу на растровому електронному мікроскопі РЕМ-106І проведені дослідження мікроструктури і визначені хімічні склади фаз.

Встановлено, що отриманий результат розрахунковим методом має хорошу відповідність з експериментальними даними таблиці 3. Хімічний склад γ' - і γ - фаз розрахований за отриманими залежностями та отриманий експериментально методом енергодисперсійного аналізу при 20 °С наведений в таблиці 3.

На рисунку 6 показано, що при mismatch - 0.4 % в даній системі спостерігається максимальне значення міцності при температурах від 700...1000 °С. Однак, пластичність сплаву має максимум при mismatch ≈ 0 , що пояснюється мінімальними напругами в кристалічній решітці. Характеристики повзучості мають оптимальне значення в межах mismatch $\approx (-0,4 \% \dots -0,2 \%)$, тому потрібно отримати невідповідність параметрів кристалічних ґрат γ' - та γ - фаз саме в цьому діапазоні.

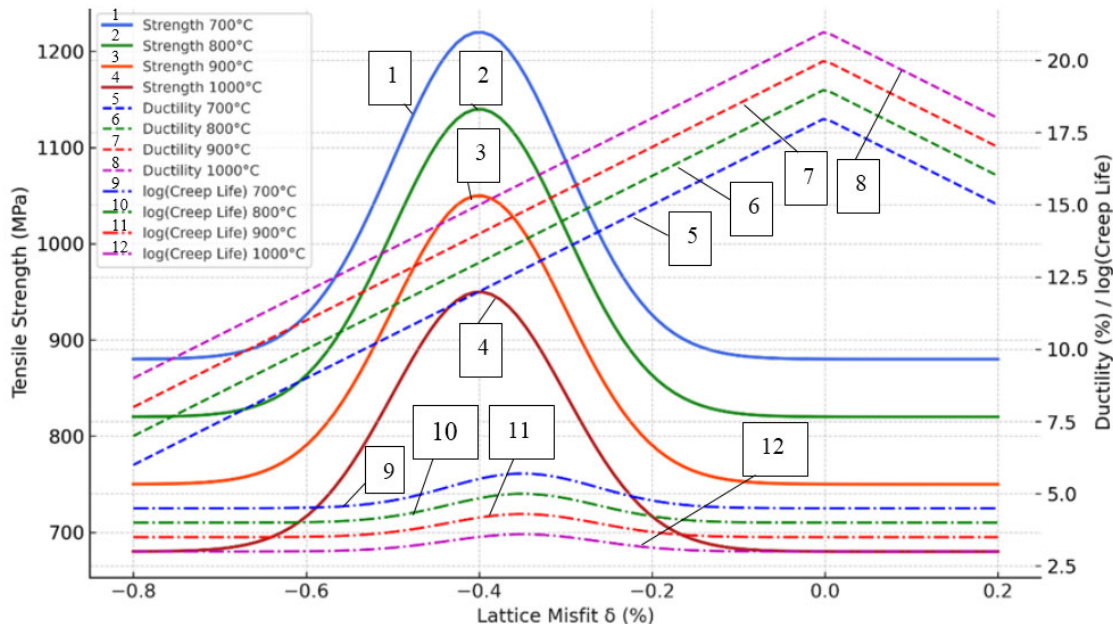


Рис. 6. Вплив кристалічної ґратки γ/γ' (δ) на міцність на розрив, пластичність та опір повзучості нікелевого суперсплаву при (700...1000) °С

Джерело: розроблено авторами

У таблиці 3 показано, що розрахункові та експериментальні дані добре поєднуються між собою практично за всіма елементами. Спостерігається підвищений вміст деяких елементів як в зміцнюючій фазі, так і в матриці у

порівнянні з розрахунковими даними. Таким чином, розрахункові дані щодо визначення типу та хімічного складу фази показали хорошу схожість і узгодженість з експериментальними даними, отриманими методом електронної мікроскопії

Хімічний склад γ' - та γ -фаз

Метод отримання результатів	Вміст елементу, % мас.							
	Ni	Al	Ti	W	Co	V	Mo	Cr
Розрахунковий склад γ' - фази	69,72	7,11	6,65	1,22	10,8	0,16	0,83	2,42
Розрахунковий склад γ - фази	47,57	2,11	0,44	1,85	21,89	1,14	6,2	19,72
Експериментальний склад γ' - фази	70,66	7,57	6,91	1,89	9,81	0,14	0,76	2,37
Експериментальний склад γ - фази	46,75	2,22	0,51	1,96	22,53	1,47	7,54	20,7

Джерело: розроблено авторами

Висновки

У даній роботі проведено комплексне дослідження взаємозв'язку між хімічним складом і фазовими перетвореннями в жароміцних нікелевих суперсплавах системи Ni-Al-Cr-Co-W-Mo-Ti-Nb-Ce-Zr-B-La. Метою дослідження стало підвищення структурної та термічної стабільності матеріалів для застосування в деталях гарячого тракту газотурбінних двигунів. На основі термодинамічного моделювання та експериментальної верифікації отримані такі висновки.

Розроблені прогнознi моделі на основі методу CALPHAD, що дозволяють визначити фазовий склад в залежності від вмісту легуючих елементів. Встановлено, що кількість і хімічний склад γ' -фази в значній мірі залежать від вмісту алюмінію і титану, а також від їх взаємодії з іншими компонентами системи.

Встановлено вплив окремих легуючих елементів на фазову стабільність: алюміній здатний формувати γ' -фазу, досягаючи її вмісту до 89 % при 7,6 % Al, однак, при великому вмісті викликає утворення крихких фаз, що знижують пластичність; титан також підвищує вміст γ' -фази, але при вмісті вище 6,4 % призводить до формування пластинчастих фаз (наприклад, η -фази), негативно впливаючих на механічні властивості; кобальт і хром збільшують свою концентрацію в зміцнюючій фазі, сприяючи її термічній стабільності. Молібден і

вольфрам не беруть участь безпосередньо у формуванні γ' -фази, однак, підвищують її жаростійкість.

Показано вплив температури на параметри решіток γ і γ' -фаз: параметри ґраток обох фаз збільшуються з температурою у зв'язку з тепловим розширенням і посиленням атомних коливань; мінімальна невідповідність спостерігається при температурі (700...800) °C, що відповідає оптимальним значенням міцності, пластичності та стійкості до повзучості.

Експериментальна перевірка на промисловому сплаві ВЖЛ-12 показала добре співвідношення між розрахунковими і фактичними даними. Хімічний склад γ і γ' -фаз, визначений методом енергодисперсійної спектроскопії, відповідає результатам термодинамічного моделювання, що підтверджує достовірність запропонованого підходу.

Таким чином, наведений методичний підхід є ефективним інструментом для проєктування мікроструктур сучасних нікелевих суперсплавів.

Для подальших досліджень встановлені залежності між легуванням, фазовими перетвореннями і термомеханічними властивостями можуть служити основою для створення нових поколінь матеріалів, здатних працювати в умовах екстремально високих температур і навантажень. У подальшому планується дослідження поведінки вторинних фаз і впливу рідкоземельних елементів у даній системі.

Список літератури

1. Balitskii O.A. Hydrogen effect on the high-nickel surface steel properties during machining and wear with lubricants / Balitskii O.A., Kolesnikov V.O., Balitskii A.I., Elias J.J., Havrylyuk M.R. // Archives of Materials Science and Engineering – 2020. - №104/2. – P. 49-57. DOI: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0014.4894>.
2. Min, P.G. Development of Corrosion and Heat-Resistant Nickel Alloys and their Production Technology with the Aim of Import Substitution / P.G. Min, V.V. Sidorov, V.E. Vadeev // Power Technol Eng. – 2020. - №54. – P. 225–231. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10749-020-01195-x>.
3. Yonghua, R. Characterization of M23C6 carbide precipitated at grain boundaries in a superalloy / R. Yonghua, Hu. Geng, G. Yongxiang // Metallography. – 1989. - № 22(1). – P. 47-55. DOI: 10.1016/0026-0800(89)90021-9.
4. Balyts'kyi, O.I. Influence of Lubricating Liquid on the Formation of the Products of Cutting of 38KhN3MFA Steel/ Balyts'kyi, O.I., Kolesnikov, V.O., Havrylyuk, M.R.// Materials Science. – 2019. - № 54(5). – P. 722-727. DOI: 10.1007/s11003-019-00238-7.
5. Bond S. Surface recrystallization in a single crystal nickel-based superalloy/ Bond S., Martin J. // J. Mater. Sci. – 1984. – № 19. – P. 3867–3872. <https://doi.org/10.1007/BF00980749>.

6. Biroasca, S. Crystallographic Orientation Relationship with Geometrically Necessary Dislocation Accumulation During High-Temperature Deformation in RR1000 Nickel-Based Superalloy/ S. Biroasca // Metall Mater Trans A. – 2019. - №50. – P.534–539. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11661-018-5036-y>.
7. Seidel, A. Additive Manufacturing of Powdery Ni-Based Superalloys Mar-M-247 and CM 247 LC in Hybrid Laser Metal Deposition / A. Seidel, T. Finaske, A. Straubel //Metall Mater Trans A. – 2018. - №49. – P.3812–3830. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11661-018-4777-y>.
8. Ritt, P. Application of Plasma Spraying as a Precursor in the Synthesis of Oxidation-Resistant Coatings/ P. Ritt, O. Lu-Steffes, R. Sakidja // J Therm Spray Tech. – 2013. - №22. – P. 992–1001. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11666-013-9947-2>.
9. Glotka O.A. Modelling the composition of carbides in nickel-based superalloys of directional crystallization / O.A. Glotka O.A. // Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. – 2020. - № 102/1. – P. 5-15. DOI: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0014.6324>.
10. Glotka, A.A. Distribution of Alloying Elements in the Structure of Heat-Resistant Nickel Alloys in Secondary Carbides / A.A. Glotka, S.V. Gaiduk // J Appl Spectrosc. – 2020. - №87. – P.812–819. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10812-020-01075-2>.
11. Avila-Davila, E.O. Evaluation of Microstructural Deterioration for a Directionally Solidified Ni-Based Superalloy by X-ray Computed Tomography / E.O. Avila-Davila, L.M. Palacios-Pineda, F.O. Canto-Escajadillo // J. of Materi Eng and Perform. - 2021. - №56. – P. 235-267. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11665-020-05377-6>.
12. Balitskii A.I Hydrogen accelerated nanopore nucleation, crack initiation and propagation in the Ni-Co superalloys/ Balitskii A.I, Syrotyuk A.M, Ivaskevich L.M, Balitskii O.A, Kochmanski P., Kolesnikov V.O. // International Journal of Hydrogen Energy. — 2024. - № 82. – P. 320-332, ISSN 0360-3199, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.07.390>.

Надійшла до редколегії .26.10.2025

Схвалена до друку 26.11.2025

Відомості про авторів

Обносів Кирило Вікторович

старший науковий співробітник
Державного науково-дослідного інституту авіації,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0009-0002-3955-9752>

Шабанов Павло Павлович

ад'юнк
Державного науково-дослідного інституту авіації,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-4927-5534>

Грешта Віктор Леонідович

кандидат технічних наук
ректор Національного Університету
“Запорізька політехніка”,
Запоріжжя, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-4589-6811>

Глотка Олександр Анатолійович

кандидат технічних наук
доцент
доцент кафедри “Фізичне матеріалознавство”
Національного університету “Запорізька політехніка”,
Запоріжжя, Україна
<http://orcid.org/0000-0002-3117-2687>

Information about the authors

Kirill Obnosov

Senior Researcher
of State Research Institute of Aviation,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0009-0002-3955-9752>

Pavlo Shabanov

Adjunct
of State Research Institute of Aviation,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-4927-5534>

Viktor Greshtha

Candidate of Technical Science
Rector National University
“Zaporizhzhia Polytechnic”,
Zaporizhzhia, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-4589-6811>

Olexander Glotka

Candidate of Technical Science
Associate Professor
Associate Professor “Physical Materials Science” Department
National University “Zaporizhzhia Polytechnic”,
Zaporizhzhia, Ukraine
<http://orcid.org/0000-0002-3117-2687>

Колесніков Валерій Олександрович

кандидат технічних наук
науковий співробітник відділу міцності матеріалів і
конструкцій у водневовмісних середовищах
Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка
Національної академії наук України,
м. Львів, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-2010-3368>

Kolesnikov Valerii

Candidate of Technical Science
Research Associate at the Department of strength of materials
and structures in hydrogen-containing environments
Karpenko Institute of Physics and Mechanics
National Academy of Sciences of Ukraine,
Lviv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-2010-3368>

IMPROVEMENT OF THE FINE STRUCTURE OF NICKEL-BASED SUPERALLOY FOR THE HOT TRACT OF AIRCRAFTENGINE TURBINES

K. Obnosov, P. Shabanov, V. Gresha, O. Glotka, V. Kolesnikov

The article presents a methodological approach to establishing relationships between the chemical and phase composition of the nickel-based heat-resistant alloy VZHL 12, which is used in gas turbine construction. As the main feature of the stability of parts, the relationship between the number of alloying elements and the heat resistance (long-term strength) of the alloy is established. At the same time, the alloying limits for the specified alloying elements are established and changes in the composition of the strengthening phase are shown. Mathematical models describing the above-mentioned processes are also proposed.

Establishing dependencies will allow with high accuracy: to predict the phase composition and properties of an alloy of a given class, to modernize existing compositions, and will also allow developing new alloy compositions with the lowest costs.

During the study, it was found that with an increase in the titanium concentration, the amount of the γ' phase and the temperature of its complete dissolution increase. However, at a content of 6.4 % Ti, a TSP phase (σ - phase) is formed in the system, which has the form of plates and significantly reduces the properties of the alloy. An increase in the amount of titanium in the alloy leads to a decrease in the concentration of aluminum, tungsten, molybdenum and niobium in the γ' -phase. The effect of temperature on the lattice parameters of the γ and γ' -phases is shown: the lattice parameters of both phases increase with temperature due to thermal expansion and enhancement of atomic vibrations; the minimum discrepancy is observed at a temperature of 700...800 °C, which corresponds to the optimal values of strength, ductility and creep resistance.

Based on the results of the study, new regression models were created that allow adequate prediction of the chemical composition of the phases based on the chemical composition of the alloy. It is shown that the obtained dependencies vary depending on the element content and are closely correlated with the thermodynamic processes occurring in the system, which are accompanied by a change in the phase composition. The reliability of the obtained models is determined by the coefficient of determination, which for all dependencies was greater than 0.9.

An industrial alloy composition was chosen as an example and a comparison of calculated and practical data was carried out. Based on the results, a recommendation was made for the implementation of the obtained dependencies in industry.

Keywords: nickel-based super alloy, alloying elements, crystal lattice, phase composition, structure.