

# Облікова картка дисертації

## I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0825U002778

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 08-07-2025

Статус: Захищена

Реквізити наказу МОН / наказу закладу:



## II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Тьомкін Дмитро Олександрович

2. Dmytro Tomkin

Кваліфікація:

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-4042-4452

Вид дисертації: доктор філософії

Аспірантура/Докторантура: так

Шифр наукової спеціальності: 136

Назва наукової спеціальності: Металургія

Галузь / галузі знань: механічна інженерія

Освітньо-наукова програма зі спеціальності: Металургія

Дата захисту: 23-09-2025

Спеціальність за освітою: Ливарне виробництво чорних і кольорових металів

Місце роботи здобувача:

Код за ЄДРПОУ:

Місцезнаходження:

Форма власності:

Сфера управління:

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

### **III. Відомості про організацію, де відбувся захист**

**Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради):** PhD 10303

**Повне найменування юридичної особи:** Національний університет "Запорізька політехніка"

**Код за ЄДРПОУ:** 02070849

**Місцезнаходження:** вул. Жуковського, буд. 64, Запоріжжя, Запорізький р-н., 69063, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

### **IV. Відомості про підприємство, установу, організацію, в якій було виконано дисертацію**

**Повне найменування юридичної особи:** Національний університет "Запорізька політехніка"

**Код за ЄДРПОУ:** 02070849

**Місцезнаходження:** вул. Жуковського, буд. 64, Запоріжжя, Запорізький р-н., 69063, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

### **V. Відомості про дисертацію**

**Мова дисертації:** Українська

**Коди тематичних рубрик:** 53.49.09.31, 53.49.09.07

**Тема дисертації:**

1. Удосконалення технологічного процесу виготовлення литих робочих лопаток з жароміцних нікелевих сплавів для забезпечення експлуатаційних властивостей турбіни низького тиску
2. Improvement of the technological process of manufacturing cast working blades from heat-resistant nickel-base superalloys to ensure the operational properties of a low-pressure turbine

**Реферат:**

1. Удосконалення технологічного процесу виготовлення литих робочих лопаток з жароміцних нікелевих сплавів для забезпечення експлуатаційних властивостей турбіни низького тиску – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 136 – Металургія. Національний університет "Запорізька політехніка", Запоріжжя, 2025. Дисертацію присвячено вивченню впливу металургійних технологічних процесів та хімічних елементів на механічні властивості, довготривалу міцність і структуру ливарних ЖНС. Розглянуто залежності впливу суми Ti+Al на зміцнювальну  $\sigma'$ - фазу в ЖНС з різним типом зміцнення, а також вплив ітрію на евтектичні виділення фаз, що скупчуються на межі зерен. Встановлено, що введення в розплав ЖНС 0,136 % лігатури нікель-ітрію сприяє очищенню межі зерен від знеміцнювальних фаз. Проведено роботи з визначення комплексного впливу легування, модифікування та високотемпературного оброблення розплаву (ВТОР) на структуру і властивості ЖСЗДК-VI,

який використовується для виготовлення робочих лопаток турбіни низького тиску (вільної турбіни, турбіни вентилятора) авіаційних двигунів і газотурбінних установок. У роботі встановлено особливості впливу вуглецю, легуючих добавок ніобію і гафнію, модифікуючої добавки ітрію та ВТОР на розподіл, форму карбідів і меж зерен, механічні властивості, тривалу міцність виливків, отриманих із жароміцного сплаву в процесі рівноосної кристалізації. Проведено розрахунки структурної стабільності, збалансування хімічного складу, а також впливу ніобію та гафнію на механічні властивості сплаву ЖСЗДК-ВІ. Розглянуто вплив комплексної модернізації сплаву ЖСЗДК-ВІ за технологічними напрямками в галузі металургії (легування ніобієм і гафнієм, модифікування ітрієм та проведення ВТОР) на поліпшення структурного стану, міцності та пластичних властивостей жароміцного лиття. За результатами аналізів літературних даних, проведених теоретичних розрахунків та досліджень можна зробити наступні висновки. 1. Гафній і ніобій входять у зміцнювальну  $\rho'$ - фазу та додатково зміцнюють її. Беруть участь у вдосконаленні морфології карбідів і підвищують термодинамічну стабільність сплаву. 2. Модифікування сплаву ітрієм сприяє поліпшенню міжфазної поверхні між інтерметалідною  $\rho'$ - фазою та твердорозчинною матрицею, стабілізації карбідних виділень сприятливої морфології, а також формуванню їхніх термодинамічно стійких високотемпературних модифікацій, удосконаленню меж зерен. 3. Застосування ВТОР на першу і другу точки рівноважного стану розплаву дає змогу підвищити показники міцності ЖНС, пластичність, ударну в'язкість, границю тривалої міцності, опір виникненню та розвитку тріщини, що загалом дає змогу збільшити тривалість експлуатації деталей. 4. На підставі проведених досліджень створено технологію модернізації [Y+Nb+Hf+ВТОР]. Технологічну схему модернізації сплаву розроблено із застосуванням комплексного впливу, що включає легування ніобієм (НБШО = 0,5%), лігатурою гафній-нікель (ГФН-10=0,230...0,260 %), модифікування лігатурою нікель-ітрії (ІтН-1= 0,158...0,184 %), а також проведенням ВТОР (перегрівання розплаву до 1830...1870 °С, витримка 10...12 хвилин). Запропоноване рішення забезпечує високі значення ударної в'язкості та жароміцності. Встановлено зростання часу до руйнування. При переході від зразків із грубими межами зерен до зразків із тонкими межами приріст часу до високотемпературного руйнування становить  $\Delta t = 58,7$  години. Також встановлено приріст часу  $\Delta t' = 103,6$  години при переході від серійної технології модифікування сплаву ЖСЗДК-ВІ ітрієм до додаткового введення ніобію та гафнію для варіанта технології [Y+Nb+Hf+ВТОР]. Проведені теоретичні розрахунки для реакції карбідоутворення дають змогу припустити, що при вмісті 0,015 мас. % ітрію і 0,25 мас. % гафнію для повноцінного утворення сферичних карбідів потрібно щонайменше 0,02 мас.% вуглецю. Разом з тим, для реакції 0,5 мас. % ніобію необхідно 0,06 мас.% вуглецю, і для реакції 0,239 мас. % титану необхідно 0,06 мас.% вуглецю. Інтервал легування перевірено теоретичними розрахунками методом комплексної розрахунково-аналітичної методики (КРАМ), що засвідчило збалансованість системи легування сплаву та його відповідність умовам структурної стабільності. Технологічні ефекти: - підвищено рівень ударної в'язкості з 21,7 до 48,3 Дж/см<sup>2</sup>, у 2 рази - підвищено рівень часу до руйнування при випробуваннях тривалої міцності (з 150 год. до 671 год.), у 4 рази. За розробленою технологією модернізації були виготовлені дослідні робочі лопатки для випробувань, які знаходяться на різних стадіях обробки.

2. Improvement of the technological process of manufacturing cast working blades from heat-resistant nickel-base superalloys to ensure the operational properties of a low-pressure turbine – Qualification scientific work on the rights of the manuscript. Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in Metallurgy 136. National University «Zaporizhzhia Polytechnic», Zaporizhzhya, 2025. The dissertation is devoted to the study of the influence of metallurgical technological processes, chemical elements on the mechanical properties, long-term strength and structures of cast heat-resistant nickel-base superalloys (NBS). The dependences of the influence of Ti+Al amount on the hardening  $\rho'$ -phase in NBS with different types of hardening, as well as the influence of yttrium on the eutectic precipitation of phases accumulating at grain boundaries have been considered. It has been established that the introduction of 0,136 % of nickel-yttrium ligature into the melt of NBS favours the purification of grain boundaries from unstrengthening phases. Work has been carried out to determine the complex effect of alloying, modification and high-temperature melt treatment (HTMT) on the structure and properties of ZhS3DK-VI used for the manufacture of low-pressure turbine working blades (free turbine, fan turbine) of aircraft engines and gas

turbine units. The peculiarities of influence of carbon, alloying additives of niobium and hafnium, modifying additive of yttrium and HTMT on mechanical properties, long-term strength, distribution, shape of carbides and grain boundaries of test specimens obtained from heat-resistant alloy of equiaxial crystallisation have been established. Calculations of structural stability, chemical composition balancing, and the influence of niobium and hafnium on the mechanical properties of ZhS3DK-VI alloy have been carried out. The influence of complex modernisation of the alloy ZhS3DK-VI by technological directions in the field of metallurgy: alloying with niobium and hafnium, modification with yttrium and carrying out HTMT on improvements of structural state, strength and plastic properties of heat-resistant casting is considered: 1. Hafnium and niobium enter the hardening  $\sigma'$ -phase and further harden it. They contribute to the improvement of carbide morphology and increase the thermodynamic stability of the alloy. 2. Modification of the alloy with yttrium, contributes to the improvement of the interphase boundary between the intermetallic  $\sigma'$ -phase and solid-solution matrix, stabilisation of the favourable morphology of carbide precipitates, as well as the formation of their thermodynamically stable high-temperature modifications, and improvement of grain boundaries. 3. The application of HTMT to the first and second points of the equilibrium state of the melt allows to increase the strength properties of NBS, plasticity, impact strength, the limit of long-term strength, resistance to crack initiation and development, which in general allows to increase the service life of parts. 4. Based on the research conducted, a modernisation technology [Y+Nb+Hf+BTOP] was developed. Developed technological scheme of alloy modernisation with application of complex influence including niobium alloying (Nb = 0,5%), hafnium-nickel ligature (HfNi-10 = 0,230–0,260 %), modification with nickel-yttrium ligature (YNi-1 = 0,158–0,184 %), as well as by HTMT (superheating to 1830–1870 °C, exposure time 10–12 minutes). The proposed solution provides high values of impact strength and heat resistance. The time-to-fracture growth dependence was established, where at transition from samples with coarse grain boundaries to samples with fine boundaries; the time-to-high-temperature fracture growth is  $\Delta t = 58,7$  hours. The increase of time  $\Delta t' = 103,6$  hours of transition from the batch technology of modification of the alloy ZhS3DK-VI with yttrium to additional introduction of niobium and hafnium for the technology variant [Y+Nb+Hf+HTMT] was also established. Theoretical calculations for the reaction of carbide formation suggest that at the content of 0,015 wt.% yttrium and 0,25 wt.% hafnium, not less than 0,02 wt.% carbon is required for the complete formation of spherical carbides. At the same time, 0,06 wt.% carbon is required to react with 0,5 wt.% niobium, and 0,06 wt.% carbon is required to react with 0,239 wt.% titanium. The doping interval was verified by theoretical calculations using the complex-calculative analytical method (CCAM) method, which showed that the structural stability and balance of the doping system met the stability conditions. The technological effects: - increased impact strength level from 21,7 to 48,3 J/cm<sup>2</sup>, by 2 times, - improved time to fracture in long-term durability tests (from 150 hours to 671 hours), by 4 times. Using the developed modernisation technology, experimental working blades were manufactured for testing, which are currently at various stages of processing.

**Державний реєстраційний номер ДіР:**

**Пріоритетний напрям розвитку науки і техніки:** Нові речовини і матеріали

**Стратегічний пріоритетний напрям інноваційної діяльності:** Освоєння нових технологій виробництва матеріалів, їх оброблення і з'єднання, створення індустрії наноматеріалів та нанотехнологій

**Підсумки дослідження:** Теоретичне узагальнення і вирішення важливої наукової проблеми

**Публікації:**

- Тьомкін Д.О. Вплив модифікування ітрієм на структуру і властивості виливків, отриманих з вороття сплаву ЖС6У-VI / Тьомкін Д.О., Ключихін В.В., Данілов С.М., Педаш О.О., Наумик О.О., Наумик В.В. // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. 2022. № 2. – С. 50 – 56
- Аналітичний розрахунок якісних показників ливарного жароміцного нікелевого сплаву ЖСЗДК-VI / Наумик О.О., Тьомкін Д.О., Наумик В.В. // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. 2023. № 2. – С. 51 – 58

- Тьомкін Д. О. Структура та властивості литих лопаток зі сплаву ЖСЗДК-ВІ, модифікованого нікелево-ітрієвою лігатурою / Тьомкін Д. О., Педаш О. О., Данілов С. М., Клочихін В. В., Наумик О. О., Наумик В. В. // Фізико-хімічна механіка матеріалів. ISSN 0430-6252. Том 59, № 4, 2023. – С. 95 – 101
- Тьомкін Д. О. Вплив збалансованості хімічного складу кондиційного вороття і модифікування на властивості сплаву ЖС6У-ВІ / Тьомкін Д. О., Данілов С. М., Педаш О. О., Наумик О. О., Наумик В. В. // Процеси лиття. 2024. № 1 (155). – С. 39 – 47
- D. O. Tomkin. STRUCTURE AND PROPERTIES OF CAST BLADES MADE OF ZhS3DK-VI ALLOY MODIFIED WITH NICKEL-YTTRIUM LIGATURE / D. O. Tomkin,1 O. O. Pedash,2 S. M. Danilov,1 V. V. Klochikhin,3 O. O. Naumyk,3 and V. V. Naumyk // Materials Science. ISSN 1068820X. Vol. 59, No. 4, January, 2024 (Ukrainian Original Vol. 59, No. 4, July-August, 2023), P. 480 – 486
- Дмитро Тьомкін. Аналіз ефекту модифікування ітрієм, гафнієм та ніобієм сплаву ЖСЗДК-ВІ зі зниженим вмістом вуглецю. / Дмитро Тьомкін, Валерій Наумик. // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2025– №1. – С. 6-12.
- Тьомкін Д. О. Вплив зниженого вмісту вуглецю на властивості сплаву ЖСЗДК-ВІ. / Тьомкін Д. О., Педаш О. О., Наумик О. О., Наумик В. В. // Процеси лиття. – 2025. – № 1 (159). – С. 3–10.

**Наукова (науково-технічна) продукція:** технології; матеріали

**Соціально-економічна спрямованість:**

**Охоронні документи на ОПІВ:**

**Впровадження результатів дисертації:** Планується до впровадження

**Зв'язок з науковими темами:**

## **VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Наумик Валерій Владилєнович
2. Valerii Naumyk

**Кваліфікація:** д.т.н., професор, 05.16.04

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-0657-4510

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Національний університет "Запорізька політехніка"

**Код за ЄДРПОУ:** 02070849

**Місцезнаходження:** вул. Жуковського, буд. 64, Запоріжжя, Запорізький р-н., 69063, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

## **VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів**

**Офіційні опоненти**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Квасницька Юлія Георгіївна
2. Yulia Kvasnitska

**Кваліфікація:** д. т. н., старший науковий співробітник, 05.16.04**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0003-3790-2035**Додаткова інформація:****Повне найменування юридичної особи:** Фізико-технологічний інститут металів та сплавів Національної академії наук України**Код за ЄДРПОУ:** 05417153**Місцезнаходження:** бульвар Академіка Вернадського, буд. 34/1, Київ, 03142, Україна**Форма власності:****Сфера управління:** Національна академія наук України**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Селівьорстов Вадим Юрійович
2. Vadym Y. Selivorstov

**Кваліфікація:** д. т. н., професор, 05.16.04**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-1916-625X**Додаткова інформація:****Повне найменування юридичної особи:** Український державний університет науки і технологій**Код за ЄДРПОУ:** 44165850**Місцезнаходження:** вул. Лазаряна, буд. 2, Дніпро, Дніпровський р-н., 49010, Україна**Форма власності:****Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується**Рецензенти****Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Воденніков Сергій Анатолійович
2. Serhii A. Vodennikov

**Кваліфікація:** д. т. н., професор, 05.02.01**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0001-6238-1177**Додаткова інформація:****Повне найменування юридичної особи:** Національний університет "Запорізька політехніка"

**Код за ЄДРПОУ:** 02070849

**Місцезнаходження:** вул. Жуковського, буд. 64, Запоріжжя, Запорізький р-н., 69063, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Глотка Олександр Анатолійович

2. Oleksandr Hlotka

**Кваліфікація:** к. т. н., доц., 05.16.01

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-3117-2687

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Національний університет "Запорізька політехніка"

**Код за ЄДРПОУ:** 02070849

**Місцезнаходження:** вул. Жуковського, буд. 64, Запоріжжя, Запорізький р-н., 69063, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

## VIII. Заключні відомості

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові  
голови ради**

Беліков Сергій Борисович

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові  
головуючого на засіданні**

Беліков Сергій Борисович

**Відповідальний за підготовку  
облікових документів**

Тьомкін Дмитро Олександрович

**Реєстратор**

УкрІНТЕІ

**Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є  
відповідальним за реєстрацію наукової  
діяльності**



Юрченко Тетяна Анатоліївна