

# Облікова картка дисертації

## I. Загальні відомості

**Державний обліковий номер:** 0825U001821

**Особливі позначки:** відкрита

**Дата реєстрації:** 20-05-2025

**Статус:** Наказ про видачу диплома

**Реквізити наказу МОН / наказу закладу:** Диплом доктора філософії Н25 №002061, виданий від 17.07.2025 року. Реєстраційний номер додатка 1697174



## II. Відомості про здобувача

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Чигілейчик Сергій Леонідович

2. Sergii Chygileichyk

**Кваліфікація:**

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-2372-9078

**Вид дисертації:** доктор філософії

**Аспірантура/Докторантура:** ні

**Шифр наукової спеціальності:** 132

**Назва наукової спеціальності:** Матеріалознавство

**Галузь / галузі знань:** механічна інженерія

**Освітньо-наукова програма зі спеціальності:** Матеріалознавство

**Дата захисту:** 01-07-2025

**Спеціальність за освітою:** інженер із зварювання

**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 9158

**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:** 12.51.51, 55.42.47.13, 81.35.15, 81.09

**Тема дисертації:**

1. Забезпечення механічних властивостей об'ємних виробів із жароміцних нікелевих сплавів, отриманих адитивним мікроплазмовим наплавленням для виробництва деталей авіаційних двигунів
2. Ensuring mechanical properties of bulk products made of heat-resistant nickel alloys obtained by additive microplasma deposition for the production of aircraft engine parts

**Реферат:**

1. В дисертаційній роботі проведено комплекс теоретичних і експериментальних досліджень, спрямованих на забезпечення механічних властивостей об'ємних виробів із жароміцних нікелевих сплавів, отриманих адитивним мікроплазмовим наплавленням для виробництва деталей авіаційних двигунів, та уперше встановлено: спосіб виготовлення порошку зі сплаву ЭП-648 ВИ (газова або відцентрова атомізація) при забезпеченні грануляції (від 50 до 163 мкм) та хімічного складу на технологічний процес вирощування (режими наплавлення, стабільність подачі порошку) та на формування валиків суттєвого не впливає. Також встановлено, що спосіб виготовлення порошку зі сплаву ЭП-648 ВИ (газова або відцентрова атомізація) суттєво впливає на механічні властивості отриманих заготовок методом плазмового адитивного вирощування, та визначено умови використання порошків різних методів виготовлення. Також встановлено, що наявність активних газів ([O] та [N]) у порошку із жароміцних нікелевих сплавів суттєво впливає на

механічні властивості отриманих заготовок методом плазмового адитивного вирощування. Методами комп'ютерного моделювання та методом скінченних елементів з урахуванням хімічного складу, теплофізичних та механічних властивостей наплавленого матеріалу та матеріалу основи, граничних умов і особливостей об'ємного джерела тепла отримано розв'язок термомеханічної задачі для двох технологічних схем наплавлення 10 шарів для траєкторій «змійка» і «зигзаг». Узагальнивши результати розв'язання нестационарної задачі теплопровідності у вигляді полів розподілу максимальних температур у зразках на стадії нагрівання для двох технологічних схем наплавлення – «змійка» і «зигзаг» – під час наплавлення кожного із 10 шарів та результати механічних та металографічних випробувань двох вирощених зразків за поданими схемами, установили: вирощені зразки за двома схемами траєкторії мають висхідну структуру та суттєво не відрізняються від литої структури. Зразки, вирощені за траєкторією «зигзаг» у поздовжньому напрямі мають більше, ніж у два рази, падіння властивостей міцності (тобто мають значні відхилення від технічних вимог до поковок та лиття), пластичні властивості практично відсутні; водночас механічні властивості зразків отриманих за траєкторією «змійка» перебувають на досить високому рівні. А також, що причиною крихкого руйнування поздовжніх зразків є ділянки з несплавленнями; зона несплавлення становить до 50 – 60% площі зламу. Наукова новизна роботи полягає у розвитку уявлення про вплив способу виготовлення порошків із жаростійких сплавів на фізико-механічні властивості наплавлених зразків, а саме: на прикладі сплаву ЭП648ВИ встановлено, що використання порошків, отриманих газовим розпиленням розплаву інертним газом, на відміну від відцентрового плазмового розпилення циліндричних заготовок, для адитивного мікроплазмового наплавлення, у яких спостерігається внутрішня аргонова пористість, призводить до суттєвого падіння характеристик міцності та пластичності, унаслідок утворення лінійних ділянок скупчення пор довжиною приблизно 2–3 мм та тріщин, що виникають під час вирощування. При цьому було уперше встановлено, що в порошок зі сплаву ЭП-648ВИ при вмісті азоту в кількості  $[N] \geq 0,03$  ваг. % або кисню  $[O] \geq 0,02$  ваг. % у наплавленому металі при температурі 1100°C фіксується значне зниження його деформаційної здатності ( $p \leq 3,8$  %), що під впливом термічних напруг призводить до виникнення гарячих тріщин, а, як наслідок, у поздовжньому напрямі ми бачимо значне падіння властивостей міцності та пластичності. Уперше встановлено критерій максимального вмісту азоту та кисню в порошок зі сплаву ЭП-648ВИ, який використовують для адитивного мікроплазмового наплавлення, з погляду забезпечення необхідних вимог до механічних властивостей деталей соплових апаратів, жарових труб та камер згоряння авіаційних двигунів, а саме:  $[N] \leq 0,03$  ваг. %, або кисню у  $[O] \leq 0,02$  ваг. %. Уперше встановлено, що в об'ємних виробів із порошку сплаву ЭП-648ВИ, отриманих адитивним мікроплазмовим наплавленням за траєкторією «зигзаг», у поздовжньому напрямі спостерігається більш ніж удвічі падіння властивостей міцності (що значно поступається технічним вимогам до поковок та лиття), пластичні властивості практично відсутні; при цьому механічні властивості зразків, одержаних за траєкторією «змійка», мають достатньо високий рівень і відповідають вимогам до матеріалів деталей гарячого тракту газотурбінних двигунів.

2. In the dissertation work, a set of theoretical and experimental studies was conducted aimed at ensuring the mechanical properties of bulk products made of heat-resistant nickel alloys obtained by additive microplasma deposition for the production of aircraft engine parts, and for the first time it was established: : the method of manufacturing powder from ЭП648-ВИ alloy (gas or centrifugal atomization) while ensuring granulation (from 50 to 163 microns) and chemical composition does not significantly affect the technological process of growth (deposition modes, stability of powder supply) and the formation of rollers. It was also established that the method of manufacturing powder from ЭП648-ВИ alloy (gas or centrifugal atomization) significantly affects the mechanical properties of the blanks obtained by the plasma additive growth method, and the conditions for using powders of different manufacturing methods were determined. It has also been established that the presence of active gases ( $[O]$  and  $[N]$ ) in the powder of heat-resistant nickel alloys significantly affects the mechanical properties of the blanks obtained by the plasma additive growth method. Using computer modeling methods and the finite element method, taking into account the chemical composition, thermophysical and mechanical properties of the deposited material and the base material, boundary conditions and features of the volumetric heat source, a solution to the thermomechanical problem was obtained for two technological schemes for

depositing 10 layers for the "snake" and "zigzag" trajectories. Having summarized the results of solving the non-stationary problem of thermal conductivity in the form of fields of distribution of maximum temperatures in samples at the heating stage for two technological schemes of surfacing – “snake” and “zigzag” – during surfacing of each of 10 layers and the results of mechanical and metallographic tests of two samples grown according to the given schemes, we established: the samples grown according to the two trajectory schemes have an ascending structure and do not differ significantly from the as-cast structure. Samples grown along a "zigzag" trajectory in the longitudinal direction have a more than twofold decrease in strength properties (i.e., have significant deviations from the technical requirements for forgings and castings), plastic properties are practically absent; at the same time, the mechanical properties of samples obtained along a "snake" trajectory are at a fairly high level. And also that the cause of brittle fracture of longitudinal samples is areas with unfused joints; the unfused joint area accounts for up to 50–60% of the fracture area. The scientific novelty of the work lies in the development of an understanding of the influence of the method of manufacturing powders from heat-resistant alloys on the physical and mechanical properties of deposited samples, namely: using the example of the ЭП648-ВИ alloy, it was established that the use of powders obtained by gas spraying of the melt with an inert gas, in contrast to centrifugal plasma spraying of cylindrical blanks, for additive microplasma deposition, in which internal argon porosity is observed, leads to a significant drop in strength and plasticity characteristics, due to the formation of linear areas of pore accumulation approximately 2–3 mm long and cracks that occur during growth. At the same time, it was established for the first time that in powder from the EP-648VI alloy, with a nitrogen content of  $[N] \geq 0.03$  wt. % or oxygen  $[O] \geq 0.02$  wt. % in the deposited metal at a temperature of 1100°C, a significant decrease in its deformability ( $\sigma \leq 3.8$  %), which under the influence of thermal stresses leads to the appearance of hot cracks, and, as a result, in the longitudinal direction we see a significant drop in strength and ductility properties. For the first time, a criterion for the maximum nitrogen and oxygen content in the ЭП648-ВИ alloy powder used for additive microplasma deposition has been established in terms of ensuring the necessary requirements for the mechanical properties of parts of nozzle devices, heat pipes and combustion chambers of aircraft engines, namely:  $[N] \leq 0.03$  wt. %, or oxygen in  $[O] \leq 0.02$  wt. %. It has been established for the first time that in bulk products made of ЭП648-ВИ alloy powder, obtained by additive microplasma deposition along a “zigzag” trajectory, a more than twofold decrease in strength properties is observed in the longitudinal direction (which is significantly inferior to the technical requirements for forgings and castings), plastic properties are practically absent; at the same time, the mechanical properties of the samples obtained along the "snake" trajectory are of a sufficiently high level and meet the requirements for materials of parts of the hot section of gas turbine engines.

### **Державний реєстраційний номер ДіР:**

**Пріоритетний напрям розвитку науки і техніки:** Фундаментальні наукові дослідження з найбільш важливих проблем розвитку науково-технічного, соціально-економічного, суспільно-політичного, людського потенціалу для забезпечення конкурентоспроможності України у світі та сталого розвитку суспільства і держави

**Стратегічний пріоритетний напрям інноваційної діяльності:** Освоєння нових технологій високотехнологічного розвитку транспортної системи, ракетно-космічної галузі, авіа- і суднобудування, озброєння та військової техніки

**Підсумки дослідження:** Нове вирішення актуального наукового завдання

### **Публікації:**

- С. Л. Чигілейчик, І. А. Петрик, О. В. Овчинников, С. В. Кирилаху Досвід впровадження адитивних технологій при ремонті деталей ГТД зі сплавів ЕП 648 ВІ (ХН50ВМТЮБ-ВІ) в умовах серійного виробництва. Авіаційно-космічна техніка і технологія, 2022, № 1(177). – С.57-64,
- К. А. Ющенко, О. В. Яровицін, Г. Д. Хрущов, І. А. Петрик, С. Л. Чигілейчик Дослідження і оптимізація процесу серійного ремонту робочих лопаток авіаційного газотурбінного двигуна Д-18Т мікроплазмовим

порошковим наплавленням. Космічні матеріали та технології.-2022. Т.28 № 3. С 3-16

- О В. Яровицін, С. Л. Чигілейчик Формування критеріїв оцінки придатності застосування присадних матеріалів з нікелевих стопів у адитивних технологіях 3D-натоплення. Металофізика та новітні технології, 2024, № 4 С.129-149
- М. О. Гнатенко, С. Л. Чигілейчик, С. С. Сахно Виготовлення авіаційних деталей з жароміцних нікелевих сплавів методом адитивного плазмового наплавлення. Авіаційно-космічна техніка і технологія, 2021, № 2(175). – С.48-51
- К. Балушок, С. Чигілейчик, Сфера застосування адитивних технологій методом плазмового наплавлення при виробництві авіаційних двигунів. Авіаційно-космічна техніка і технологія, № 6, 2024
- К. Балушок, С. Чигілейчик, Ремонт деталей авіаційних двигунів із жароміцних нікелевих сплавів із застосуванням адитивних технологій// Авіаційно-космічна техніка і технологія, № 5, 2024
- K. Balushok, S. Chigileychik, I. Petryk, S. Sakhno, R. Kulykovskiy Developing technology of directed energy deposition of workpieces of aircraft engines from heat-resistant nickel alloys by means of using layer-by-layer microplasma surfacing method. Mechanics and Advanced Technologies, Volume 8 Number 2, p. 121-129, 2024.
- S. Chigileychik, Y. Torba, R. Kulykovskiy, N. Shyrokobokova, O. Chechet Influence of active gas content in powder on mechanical properties of workpiece blanks produced by plasma additive technologies. New materials and technologies in metallurgy and mechanical engineering. 2024/4, p. 52-56

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

**Соціально-економічна спрямованість:**

**Охоронні документи на ОПВ:**

**Впровадження результатів дисертації:** Впроваджено

**Зв'язок з науковими темами:**

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

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Куликовський Руслан Анатолійович

2. Ruslan Kulikovskiy

**Кваліфікація:** к. т. н., доц., 05.02.01

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0001-8781-2113

**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. Квасницький Віктор Вячеславович
2. Viktor Kvasnytskyi

**Кваліфікація:** д.т.н., професор, 05.03.06

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-7756-5179

### Додаткова інформація:

**Повне найменування юридичної особи:** Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

**Код за ЄДРПОУ:** 02070921

**Місцезнаходження:** проспект Берестейський, буд. 37, Київ, 03056, Україна

**Форма власності:**

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

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

### Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Звягинцева Ганна Віталіївна
2. Ganna Zvyagintseva

**Кваліфікація:** д. т. н., 05.16.01

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-6450-4887

### Додаткова інформація:

**Повне найменування юридичної особи:** Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона Національної академії науки України

**Код за ЄДРПОУ:** 05416923

**Місцезнаходження:** вул. Казимира Малевича, буд. 11, Київ, 03150, Україна

**Форма власності:**

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

## Рецензенти

### Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Ткач Дар'я Володимирівна
2. Daria Tkach

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

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0003-0851-1481

### 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**

Павленко Дмитро Вікторович

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

Павленко Дмитро Вікторович

**Відповідальний за підготовку  
облікових документів**

С.Л. Чигілейчик

**Реєстратор**

УкрІНТЕІ

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



Юрченко Тетяна Анатоліївна