# Облікова картка дисертації

## I. Загальні відомості

**Державний обліковий номер:** 0825U003869

**Особливі позначки:** відкрита

**Дата реєстрації:** 07-10-2025

**Статус:** Наказ про видачу диплома

**Реквізити наказу МОН / наказу закладу:**

## II. Відомості про здобувача

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Сяоле Ге ..
2. Ge Xiaole

**Кваліфікація:**

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0009-0007-6335-8287

**Вид дисертації:** доктор філософії

**Аспірантура/Докторантура:** так

**Шифр наукової спеціальності:** 132

**Назва наукової спеціальності:** Матеріалознавство

**Галузь / галузі знань:** механічна інженерія

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

**Дата захисту:** 17-11-2025

**Спеціальність за освітою:** Mechanical Engineering

**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 11022

**Повне найменування юридичної особи:** Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"

**Код за ЄДРПОУ:** 02071180

**Місцезнаходження:** вул. Кирпичова, Харків, Харківський р-н., 61002, 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 технічний університет "Харківський політехнічний інститут"

**Код за ЄДРПОУ:** 02071180

**Місцезнаходження:** вул. Кирпичова, Харків, Харківський р-н., 61002, Україна

**Форма власності:** Державна

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

**Ідентифікатор ROR:**

## V. Відомості про дисертацію

**Мова дисертації:** Українська

**Коди тематичних рубрик:** 81.35.15

### Тема дисертації:

1. Дослідження технології та властивостей з'єднань точкового зварювання тертям сплавів на основі міді.
2. Study on technology and joint properties for refill friction stir spot welding of copper -Based Material Joints

### Реферат:

1. Дисертаційна робота присвячена дослідженню властивостей з’єднань, отриманих методом зварювання тертям з перемішуванням із заповненням (ТЗТЗП) у мідних листах товщиною 1мм, з метою усунення наявного наукового пробілу в галузі зварювання міді цим методом та надання теоретичної і технічної підтримки для досягнення високої якості з’єднань у тонких мідних листах. Метою дисертаційної роботи – є визначення впливу параметрів процесу ТЗТЗП-П (глибина занурення інструмента, швидкість обертання, час витримки) на мікроструктуру та механічні властивості з’єднань у тонких мідних листах, а також визначення механізмів їх деформування та руйнування. Завдання дослідження: 1. Створити модель математичного моделювання ТЗТЗП для тонких мідних листів, яка дозволить отримати критичну інформацію, таку як потік матеріалу, розподіл напружень і деформацій, які важко визначити експериментально; 2. Проаналізувати вплив параметрів процесу на макроморфологію з’єднань та детально дослідити мікроструктурні особливості,

забезпечуючи теоретичну основу для аналізу механічної поведінки; 3. Провести аналіз впливу ТЗТЗП на механічні властивості, електропровідність, рівень залишкових напружень; 4. Розробити динамометр, придатний для роботи в умовах високих температур і тисків, для вимірювання зварювальних зусиль і крутного моменту під час процесу ТЗТЗП тонких мідних листів 5. Проаналізувати типи та причини руйнування зварних з'єднань, виявити механізми руйнування та побудувати математичну модель, що пов'язує параметри процесу з навантаженням на зріз під час розтягування (СЗР). Оптимізацію параметрів процесу виконати з метою максимізації СЗР, що дозволить визначити оптимальну комбінацію параметрів. Об'єкт дослідження: процес зварювання тертям з перемішуванням ТЗТЗП для мідних листів товщиною 1□мм. Предмет дослідження: еволюція мікроструктури, механічні властивості та поведінка при руйнуванні з'єднань, виготовлених за різних параметрів зварювального процесу. За результатами дослідження отримано наступні наукові результати: Вперше: 1. У роботі проведено систематичне дослідження ТЗТЗП у мідних листах товщиною 1□мм, що дозволяє усунути науковий пробіл у зварюванні міді цим методом. Дослідження суттєво розширює можливості застосування ТЗТЗП для матеріалів з високою теплопровідністю та електропровідністю і закладає осно-ву для його використання; 2. На основі математичного моделювання в роботі розкрито температурні цикли, розподіли напружень і деформацій, а також швидкість течії матеріалу під час процесу ТЗТЗП. Встановлено особливості перерозподілу матеріалу та ме-ханізми пластичної течії, що поглиблює розуміння формування з'єднань у тонких мідних листах; 3. Дослідження пояснює форми руйнування, місця зародження тріщин, шляхи їх поширення та причини руйнування під час навантаження на розтяг з'єднань ТЗТЗП, що забезпечує теоретичну основу для вибору оптимальних параметрів процесу зварювання тонких мідних листів. Практичне значення отриманих результатів: 1. Проведення системних досліджень методу ТЗТЗП - дослідження зварювання тонких мідних листів методом ТЗТЗП дозволяє усунути нестачу даних про вплив параметрів процесу на формування мікроструктури та властивостей з'єднань, що створює передумови для інженерного застосування цього методу; 2. Розширення можливостей промислового використання ТЗТЗП – отримані результати сприяють впровадженню методу для зварювання матеріалів з високою теплопровідністю та електропровідністю, зокрема міді, у таких галузях, як електротехнічна, авіаційна та енергетична промисловість; 3. Використання математичного моделювання для оптимізації процесу – створена та верифікована модель дозволяє прогнозувати температурні поля, напружено-деформований стан та особливості течії матеріалу, що зменшує кількість необхідних експериментів і скорочує витрати на розробку оптимальних режимів зварювання; 4. Поглиблене розуміння механізмів формування з'єднань – встанов-лені закономірності міграції матеріалу та пластичної течії дають змогу цілесп-рямовано керувати процесом утворення зварного шва та запобігати появі дефектів; 5. Практичні рекомендації для підвищення міцності з'єднань – дослі-дження механізмів руйнування, місць зародження тріщин та їх поширення під навантаженням на розтяг забезпечує вибір оптимальних параметрів процесу, що підвищує здатність і надійність зварних швів; 6. Можливість створення інженерних рішень – результати досліджен-ня можуть бути використані для розробки технологічних карт, удосконалення обладнання для ТЗТЗП та впровадження ефективних режимів зварювання у промислове виробництво виробів з тонких мідних листів.

2. The dissertation investigates the joint properties of refill friction stir spot welding (RFSSW) in 1□mm-thick copper sheets, in order to address the current research gap in copper welding using this technique and to provide theoretical and technical support for achieving high-quality joints in thin copper sheets. The aim of this work is to systematically explore the influence of various welding process parameters – including plunge depth, rotational speed, and dwell time – on the joint properties of RFSSW in thin copper sheets. The research objectives include: 1. To establish a numerical simulation model of RFSSW for thin copper sheets, enabling the acquisition of critical information such as material flow, stress, and strain distributions, which are difficult to obtain experimentally; 2. To analyze the effects of process parameters on the macro morphology of the joints, and to investigate the microstructural features in depth, providing a theoretical foundation for the analysis of mechanical behavior; 3. To assess joint performance from multiple perspectives by analyzing mechanical properties, electrical conductivity, and residual stresses; 4. To develop a dynamometer suitable for high-temperature and high-pressure conditions to

measure welding forces and torque during the RFSSW process of thin copper sheets; 5. To analyze the failure types and causes of the welded joints, uncover the failure mechanisms, and establish a mathematical model relating process parameters to the tensile shear failure load (TSFL). Optimization of process parameters is conducted with the aim of maximizing the TSFL, resulting in the identification of an optimal parameter combination.Object of research: research is the RFSSW process for 1□mm-thick copper sheets. Subject of research: to explore the microstructural evolution, mechanical properties, and failure behavior of joints fabricated under varying welding process parameters. Scientific results obtained for the first time: 1. This work provides a systematic study of RFSSW in 1□mm-thick copper sheets, addressing the research gap in copper welding using this technique. The study significantly expands the application potential of RFSSW in materials with high thermal and electrical conductivity and lays the foundation for its engineering application; 2. Based on numerical simulation, the study reveals the temperature cycles, stress and strain distributions, and material flow velocity during the RFSSW process, and clarifies the material migration and plastic flow mechanisms, enhancing the understanding of joint formation in thin copper sheets; 3. The study elucidates the failure forms, locations, crack propagation paths, and causes of failure during tensile loading of RFSSW joints, providing theoretical support for selecting suitable process parameters for thin copper sheet welding. Practical significance of the obtained results: 1. Elimination of the scientific and technological gap – the systematic study of thin copper sheet welding using RFSSW eliminates the lack of data on the influence of process parameters on the formation of microstructure and joint properties, creating a foundation for the engineering application of this technology; 2. Expansion of industrial application potential of RFSSW – the obtained results promote the implementation of this method for welding materials with high thermal and electrical conductivity, particularly copper, in industries such as electrical engineering, aviation, and energy; 3. Use of numerical simulation for process optimization – the developed and validated model enables the prediction of temperature fields, stress-strain states, and material flow characteristics, reducing the number of required experiments and lowering the cost of developing optimal welding regimes; 4. Enhanced understanding of joint formation mechanisms – the identified patterns of material migration and plastic flow allow targeted control of the weld formation process and the prevention of defect occurrence; 5. Practical recommendations for improving joint strength – the investigation of failure mechanisms, crack initiation sites, and their propagation under tensile loading provides the basis for selecting optimal process parameters that increase the load-bearing capacity and reliability of welded joints; 6. Potential for engineering solutions – the research results can be applied in the development of technological guidelines, improvement of RFSSW equipment, and implementation of efficient welding regimes in industrial production of thin copper sheet components.

**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:** Нове вирішення актуального наукового завдання

**Публікації:**


- 1. Xiaole Ge, I.N. Kolupaev, Di Jiang, Hongfeng Wang. Investigation of welding forces and torque measurement using octagonal ring dynamometer in refill friction stir spot welding of pure copper. Archives of Metallurgy and Materials, 2025, 70(2), 539-552. https://doi.org/10.24425/amm.2025.153454 (Web of science)
- 2. Xiaole Ge, I.N. Kolupaev, Di Jiang, Weiwei Song, Hongfeng Wang. Influence of rotational speed on the microstructure and mechanical properties of refill friction stir spot welded pure copper. Crystals, 2025, 15(3), 268. https://doi.org/10.3390/cryst15030268 (Web of science)
- 3. Xiaole Ge, I.N. Kolupaev, Di Jiang, Hongfeng Wang. Investigation on the welded joint properties of pinless friction stir spot welding of copper under different tool grooves. Ferroelectrics, 2024, 618, 15-16, 2339-2354. https://doi.org/10.1080/00150193.2024.2325888 (Web of science)

- 4. Xiaole Ge, I.N. Kolupaev, Di Jiang, Hongfeng Wang, Shouzhen Cao, Shengrong Liu. Effect of the tool rotation direction on the joint properties of the pinless friction stir spot welding of pure copper. Ferroelectrics, 2023, 615, 396-406. https://doi.org/10.1080/00150193.2023.2198948 (Web of Science)
- 5. Xiaole Ge, Igor Kolupaev, Weiwei Song, Di Jiang, Jiafei Pu, Hongfeng Wang, Yuan Chu. Influence of the process parameters on the microhardness and the wear resistance of the friction stir processed H65 copper alloy. Journal of Engineering and Technological Sciences, 2022, 54(6), 1143-1159. https://doi.org/10.5614/j.eng.technol.sci.2022.54.6.4 (Scopus)
- 6. Xiaole Ge, Igor Kolupaev. Analysis of joint characteristics in refill friction stir spot welding of pure copper. XVIII INTERNATIONAL CONFERENCE FOR MASTER AND POSTGRADUATE STUDENTS “Theoretical and practical research of young scientists”, November 19-22, 2024.
- 7. Xiaole Ge, Igor Kolupaev. Design of tool groove for pinless friction stir spot welding based on fibonacci spiral curve. XVII INTERNATIONAL CONFERENCE FOR MASTER AND POSTGRADUATE STUDENTS “Theoretical and practical research of Young Scientists”, November 28-30, 2023.
- 8. Волков О.О., Субботіна В.В., Колупаєв І.М., Краєвська Ж.В., Jiang Di, Ge Xiaole. Вплив теплофізичних характеристик матеріалів на ефективність процесів з фрикційною складовою:Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров’я: тези доповідей XXXI міжнар. наук.-практ. конф. MicroCAD-2023, 17–20 травня 2023 р. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків : НТУ «ХПІ». – 1406 с.
- 9. Subbotina V.V., Bilozerov V.V., Kolupaev I. N., Volkov O.O., Subbotin O.V., D. Jiang, Xiaole Ge Control of the magnitude and distribution of residual macro-stresses by roller rolling): Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров’я: тези доповідей XXXII міжнар. наук.-практ. конф. MicroCAD-2024, 22–25 травня 2024 р. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ».
- 10. Волков О.О., Субботіна В.В., Колупаєв І.М., Краєвська Ж.В., Jiang Di, Ge Xiaole. Застосування тертя в якості високоенергетичного засобу зміни структурного стану матеріалів" Тез. доп. XXX Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоровпя:– Харків: НТУ «ХПІ», 2022. – С. 222
- 11. Волков О.О., Субботіна В.В., Колупаєв І.М., Краєвська Ж.В., Jiang Di, Ge Xiaole. Технологічні принципи підвищення експлуатаційних властивостей деталей машин та елементів конструкцій при модифікуванні їх поверхневих шарів методами ТФЗ, МДО та при зварюванні тертям з перемішуванням. VII Всеукраїнська науково-практична конференція здобувачів вищої освіти та молодих вчених «Фізика і хімія твердого тіла: стан, досягнення і перспективи» Луцьк, 2022 р.

**Наукова (науково-технічна) продукція:** методи, теорії, гіпотези

**Соціально-економічна спрямованість:** економія енергоресурсів; економія матеріалів

**Охоронні документи на ОПІВ:**

**Впровадження результатів дисертації:** Впроваджено

**Зв'язок з науковими темами:**

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

### Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Колупаєв Ігор Миколайович

2. Ihor Kolupaiev

**Кваліфікація:** к. ф.-м. н., доц., 01.04.07

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-2125-7118

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"

**Код за ЄДРПОУ:** 02071180

**Місцезнаходження:** вул. Кирпичова, Харків, Харківський р-н., 61002, Україна

**Форма власності:** Державна

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

**Ідентифікатор ROR:**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Волков Олег Олексійович
2. Oleh O. Volkov

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

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0001-8797-0322

**Додаткова інформація:** https://scholar.google.com/citations?user=kHZVodoAAAAJ&hl=en

**Повне найменування юридичної особи:** Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"

**Код за ЄДРПОУ:** 02071180

**Місцезнаходження:** вул. Кирпичова, Харків, Харківський р-н., 61002, 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. Рибалко Іван Миколайович
2. Ivan M. Rybalko

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

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-3663-019X

**Додаткова інформація:** ;https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57218164931 https://scholar.google.com.ua/citations?user=9a8xhJoAAAAJ&hl=uk https://orcid.org/0000-0002-3663-019X https://www.webofscience.com/wos/author/record/1688472

**Повне найменування юридичної особи:** Державний біотехнологічний університет

**Код за ЄДРПОУ:** 44234755

**Місцезнаходження:** вул. Алчевських, Харків, Харківський р-н., 61002, Україна

**Форма власності:**

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

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Гапонова Оксана Петрівна
2. Oksana P. Haponova

**Кваліфікація:** д. т. н., професор, 05.02.01

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-4866-0599

**Додаткова інформація:** https://scholar.google.com/citations?user=fYt-jVwAAAAJ&hl=ua;ORCID 0000-0002-4866-0599

**Повне найменування юридичної особи:** Сумський державний університет

**Код за ЄДРПОУ:** 05408289

**Місцезнаходження:** вул. Харківська, Суми, Сумський р-н., 40007, Україна

**Форма власності:** Державна

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

**Ідентифікатор ROR:**

**Рецензенти**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Терлецький Олександр Семенович
2. Alexandr S. Terletsky

**Кваліфікація:** к.ф.-м.н., доц., 01.04.07

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0009-0001-0617-180X

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"

**Код за ЄДРПОУ:** 02071180

**Місцезнаходження:** вул. Кирпичова, Харків, Харківський р-н., 61002, Україна

**Форма власності:** Державна

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

**Ідентифікатор ROR:**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Реброва Олена Михайлівна
2. Olena M. Rebrova

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

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0003-2315-7003

**Додаткова інформація:** ;https://orcid.org/0000-0003-2315-7003

**Повне найменування юридичної особи:** Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"

**Код за ЄДРПОУ:** 02071180

**Місцезнаходження:** вул. Кирпичова, Харків, Харківський р-н., 61002, Україна

**Форма власності:** Державна

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

**Ідентифікатор ROR:**

## VIII. Заключні відомості

| | |
|---|---|
| **Власне Прізвище Ім'я По-батькові голови ради** | Дмитрик Віталій Володимирович |
| **Власне Прізвище Ім'я По-батькові головуючого на засіданні** | Дмитрик Віталій Володимирович |
| **Відповідальний за підготовку облікових документів** | Ge Xiaole |
| **Реєстратор** | Юрченко Тетяна Анатоліївна |
| **Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є відповідальним за реєстрацію наукової діяльності** | Юрченко Тетяна Анатоліївна |