Облікова картка дисертації

I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0825U001382

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 28-04-2025

Статус: Наказ про видачу диплома

Реквізити наказу МОН / наказу закладу: № НСВС/58/25 від 15.07.2025

II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Наконечний Сергій Олегович
2. Serhii O. Nakonechnyi

Кваліфікація:

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-3237-4600

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: 26-06-2025

Спеціальність за освітою: Матеріалознавство

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 8630

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

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

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

V. Відомості про дисертацію

Мова дисертації: Українська

Коди тематичних рубрик: 53.39.03.05, 55.22.29, 81.33, 81.09.03

Тема дисертації:

1. Формування структури та властивостей захисних покриттів із суміші порошків «високоентропійний сплав – тугоплавка сполука» холодним газодинамічним напиленням

2. Formation of the structure and properties of protective coatings from a mixture of powders «high-entropy alloy - refractory compound» by cold gas-dynamic spraying

Реферат/анотація:

1. Дисертаційна робота присвячена встановленню закономірностей формування структури, фазового складу та комплексу властивостей захисних композиційних покриттів на основі високоентропійного сплаву (ВЕС) з додаванням тугоплавких сполук (ТС), отриманих методом холодного газодинамічного напилення (ХГН), для їх потенційного використання в умовах окисних і корозійних агресивних середовищ, підвищених температур, та зношування. У роботі наведено літературний огляд останніх досліджень за темою дисертаційної роботи. Представлено аналіз основних особливостей та властивостей ВЕС, а також композиційних матеріалів на їхній основі. Широко розглянуто та проаналізовано літературні дані щодо різних типів покриттів з ВЕС та композитів на їх основі, а також переваги та недоліки різних методів

отримання. У другому розділі дисертаційної роботи наведено інформацію щодо складу ВЕС, обґрунтування підбору вихідних металевих компонентів для отримання ВЕС та ТС для армування. Представлено методику отримання ХГН покриттів та всі відповідні методики щодо дослідження структури, фазового складу, механічних властивостей та термостабільності порошкових матеріалів і композиційних покриттів, а також стійкості покриттів до корозії, окиснення та зносу. У третьому розділі дисертаційної роботи представлено результати дослідження структури та фазового складу вихідних порошків ВЕС та показано, що AlNiCoFeCrTi ВЕС має композиційну структуру на основі ОЦК твердого розчину з включеннями □–фази та TiC, а AlNiCoFeCr ВЕС складається з ОЦК твердого розчину та включень ГЦК твердого розчину. В четвертому розділі дисертаційної роботи досліджено вплив технологічних параметрів ХГН (тиск та температура потоку стисненого повітря) на характеристики (товщина, відносна щільність, структура, фазовий склад, та механічні властивості) покриттів з порошків ВЕС та їх сумішей з ТС – диборидом титану та керамічним композитом на основі карбіду бору, армованого волокнами дибориду титану. Встановлено, що за різних параметрів тиску (від 0,7 МПа до 0,9 МПа) та температури (від 200 °С до 550 °С) потоку стисненого повітря фазовий склад та структура вихідних порошків зберігається, в той час як підвищення тиску та/або температури стисненого повітря в декілька разів підвищує товщину покриттів, а також приводить до подрібнення їх структури. Додавання ТС до складу AlNiCoFeCr ВЕС суттєво збільшує кінетичну енергію частинок та в десятки разів підвищує товщину композиційних покриттів, а отримані композиційні покриття мають відмінну комбінацію мікротвердості та в'язкості руйнування, у порівнянні з композиційними покриттями на основі чистих металів і їх сплавів та інших ВЕС, отриманих високотемпературними методами напилення. У п’ятому розділі дисертаційної роботи досліджено термічну стабільність структури, фазового складу та механічних властивостей отриманих композиційних покриттів на основі AlNiCoFeCr ВЕС з додаванням ТС та встановлено, що стабільність фазового складу та структурного стану покриттів, отриманих ХГН, зберігається до температури 1000 °С та перевищує термічну стабільність композитів з матрицею з традиційних сплавів, що обумовлено багатоелементним складом ВЕС матриці та впливом високої ентропії змішування, яка збільшує стабільність твердих розчинів за високих температур у порівнянні з інтерметалічними та іншими упорядкованими фазами. Крім цього, вперше встановлено можливість підвищення твердості, в’язкості руйнування та зносостійкості композиційних покриттів на основі AlNiCoFeCr ВЕС з додаванням ТС, отриманих ХГН, за рахунок відпалу за температури 1000 °С (в зоні температур фазового перетворення ГЦК□ОЦК). В шостому розділі дисертаційної роботи досліджено стійкість отриманих композиційних покриттів на основі AlNiCoFeCr ВЕС з додаванням ТС в умовах електрокорозії та високотемпературного окиснення. Встановлено, що покриття, армовані диборидом титану, мають вищу за нержавіючу сталь 316L електрокорозійну стійкість в 3,5 % розчині NaCl завдяки формуванню на поверхні суцільної та щільної пасивувальної плівки оксиду хрому, натомість, покриття, армовані композитною керамікою, не володіють антикорозійними властивостями через відсутність суцільної пасивувальної плівки на поверхні та утворення складних оксидів різного складу. Відпал композиційних покриттів на основі AlNiCoFeCr ВЕС з додаванням ТС за температури 800 °С та 1000 °С підвищує їх стійкість до окиснення завдяки як збільшенню розміру зерен/субзерен і, відповідно, зменшенню кількості границь зерен/субзерен (шляхів прискореної дифузії) та нижчої швидкості дифузії кисню, так і формуванню суцільного та щільного шару оксиду алюмінію, який запобігає дифузії атомів кисню та захищає покриття та підкладку від внутрішнього окиснення протягом 100 годин за температури 900 °С. Стійкість до окиснення покриттів ВЕС-диборид титану та ВЕС–(карбід бору-диборид титану)після відпалу за температури 800 °С та 1000 °С в 1,8 і 1,3 рази, відповідно, перевищує стійкість до окиснення нержавіючої сталі 316L.

2. The PhD thesis is devoted to the establishing of principles of the formation of the structure, phase composition and a complex of properties of protective composite coatings based on a high-entropy alloy (HEA) with the addition of refractory compounds (RC) obtained by cold gas-dynamic spraying (CGS) for their potential use in oxidizing and corrosive aggressive environments, high temperatures, and wear. The paper provides a literature review of recent research on the topic of the thesis. An analysis of the main features and properties of HEA, as well as composite materials based on them, is presented. Literature data on different types of coatings from HEAs and

composites based on them, as well as the advantages and disadvantages of various methods of obtaining them, are widely reviewed and analysed. The second chapter of the thesis provides information on the composition of the HEA, the explanation of the selection of the initial metal components for the HEA synthesis and the RC for reinforcement. The technique of cold spraying of coatings and all relevant methods for studying the structure, phase composition, mechanical properties and thermal stability of powder materials and composite coatings, as well as the resistance of coatings to corrosion, oxidation, and wear are presented. The third chapter of the thesis presents the results of studying the structure and phase composition of the initial HEA powders and shows that AlNiCoFeCrTi HEA has a composite structure based on BCC solid solution with inclusions of □-phase and TiC, and AlNiCoFeCr HEA consists of BCC solid solution and inclusions of FCC solid solution. In the fourth chapter of the thesis the influence of technological parameters of CS (pressure and temperature of the compressed air flow) on the characteristics (thickness, relative density, structure, phase composition, and mechanical properties) of coatings obtained of HEA powders and their mixtures with RC was investigated. It was found that, at different parameters of pressure (from 0.7 MPa to 0.9 MPa) and temperature (from 200 °C to 550 °C) of the compressed air flow, the phase composition and structure of the initial powders are preserved, while an increase in compressed air pressure and/or temperature increases the thickness of the coatings several times, and also leads to the grinding of their structure. The addition of refractory compounds to the AlNiCoFeCr HEA significantly increases the kinetic energy of particles and increases the thickness of composite coatings. At the same time, obtained composite coatings have an excellent combination of microhardness and fracture toughness compared to composite coatings based on pure metals and their alloys and other HEAs obtained by high-temperature spraying methods. In the fifth chapter of the thesis, the thermal stability of the structure, phase composition, and mechanical properties of the obtained composite coatings based on AlNiCoFeCr HEA with the addition of RC was investigated. It has been established that the stability of the phase composition and nanostructural state of the coatings obtained by CGS is maintained up to a temperature of 1000 °C and exceeds the thermal stability of composites with a matrix of traditional alloys due to the multi-element composition of the HEA matrix and the influence of high mixing entropy that increases the stability of solid solutions at high temperatures compared to intermetallic and other ordered phases. In addition, the possibility of increasing the hardness, fracture toughness, and wear resistance of composite CGS coatings based on AlNiCoFeCr HEA with the addition of RC by annealing at a temperature of 1000 °C (in the zone of FCC□BCC phase transformation temperatures) was established for the first time. In the sixth chapter of the thesis, the stability of the obtained composite coatings based on AlNiCoFeCr HEA with the addition of RC under conditions of electrocorrosion and high-temperature oxidation was investigated. It has been established that the coatings reinforced with titanium diboride have higher corrosion resistance than 316L stainless steel in a 3.5 % NaCl solution due to the formation of a continuous and dense passivating chromium oxide film on the surface, while the coatings reinforced with composite ceramics do not have anticorrosive properties due to the absence of a continuous passivating film on the surface and the formation of complex oxides of different composition. The annealing of composite coatings at 800 °C and 1000 °C increases their resistance to oxidation due to both an increase in the size of grains/subgrains and, accordingly, a decrease in the number of grain/subgrain boundaries (pathways of accelerated diffusion) and a lower oxygen diffusion rate, and the formation of a continuous and dense layer of aluminium oxide, which prevents the diffusion of oxygen atoms and protects the coating and substrate from internal oxidation for 100 hours at a temperature of 900 °C.

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 виробництва матеріалів, їх оброблення і з'єднання, створення індустрії наноматеріалів та нанотехнологій

Підсумки дослідження: Нове вирішення актуального наукового завдання

Публікації:

- 1. D. V. Hushchyk, A. I. Yurkova, V. V. Cherniavsky, I. I. Bilyk, and S. O. Nakonechnyy, “Nanostructured AlNiCoFeCrTi high-entropy coating performed by cold spray,” Appl. Nanosci., vol. 10, no. 12, pp. 4879–4890, Mar. 2020. doi: 10.1007/s13204-020-01364-4. (Scopus та Web of Science Core Collection)
- 2. A. I. Yurkova, S. O. Nakonechnyi, V. V. Cherniavsky, and V. V. Kushnir, “Nanostructured AlCoFeCrVNi and AlCoFeCrVTi high-entropy alloys resulted from mechanical alloying and sintering,” Appl. Nanosci., vol. 12, no. 4, pp. 849–860, May 2021. doi: 10.1007/s13204-021-01856-x. (Scopus та Web of Science Core Collection)
- 3. S. Nakonechnyi, T. Soloviova, A. Yurkova, I. Solodkiy, and P. Loboda, “Cold sprayed AlNiCoFeCr–TiB2 metal matrix composite coatings,” Vacuum, p. 112144, Jul. 2023. doi: 10.1016/j.vacuum.2023.112144. (Scopus та Web of Science Core Collection)
- 4. A. Yurkova, V. Chernyavsky, D. Hushchyk, I. Bilyk, and N. Sergey, “Nanocrystalline AlNiCoFeCrTi High-Entropy Alloy Resulted from Mechanical Alloying and Annealing,” in 2019 IEEE 9th Int. Conf. Nanomaterials: Appl. Properties (NAP), Odesa, Ukraine, Sep. 15–20, 2019. doi: 10.1109/nap47236.2019.216967.
- 5. S. Nakonechnyi and A. Yurkova, “Nanostructural AlNiCoFeCrTi High-Entropy Coatings Performed by Cold Spraying,” in 2021 IEEE 11th Int. Conf. Nanomaterials: Appl. Properties (NAP), Odessa, Ukraine, Sep. 5–11, 2021. doi: 10.1109/nap51885.2021.9568613.
- 6. С. О. Наконечний, В. В. Чернявський, Д. В. Гущик та О. І. Юркова, “Отримання високоентропійного AlCoNiFeCrTi сплаву в процесі механічного легування та наступної гомогенізації”, у зб. тез. доп. Міжнар. науково-техн. конф. «Матеріали для роботи в екстремальних умовах – 8», Київ, Україна, 6–7 груд. 2018. Київ, 2018, с. 70–73.
- 7. С. О. Наконечний, В. В. Чернявський, Д. В. Гущик, І. І. Білик та О. І. Юркова, “Структура і мікротвердість AlNiCoFeCrTi сплаву, отриманого під час короткочасного механічного легування та наступного відпалу”, у зб. тез. доп. XII міжнар. конф. студентів, аспірантів та молодих вчен. «Перспективні технології на основі новітніх фізико-матеріалознавчих досліджень та комп’ютерного конструювання матеріалів», Київ, Україна, 18–19 квіт. 2019. Київ, 2019, с. 103–105.
- 8. С. О. Наконечний, В. В. Чернявський, Д. В. Гущик, О. І. Юркова та І. І. Білик, “Високоентропійні AlNiCoFeCrTi покриття на сталі, отримані методом холодного газодинамічного напилення ”, у матеріалах X міжнар. науково-техн. конф. «Нові матеріали і технології в машинобудуванні 2019», Київ, Україна, 30–31 трав. 2019. Київ, 2019, с. 144–147.
- 9. С. О. Наконечний, В. В. Чернявський, Д. В. Гущик та О. І. Юркова, “Формування багатокомпонентних AlNiCoFeCrTi покриттів методом холодного газодинамічного напилення”, у зб. тез. доп. Міжнар. науково-техн. конф. «Матеріали для роботи в екстремальних умовах – 9», Київ, Україна, 18–19 груд. 2019. Київ, 2019, с. 32.
- 10. С. О. Наконечний, Д. В. Гущик, О. А. Літвінова, О. І. Юркова та І. І. Білик, “Вплив температури на процес холодного газодинамічного напилення високоентропійних покриттів”, у матер. XII Міжнар. науково-техн. конф. «Нові матеріали і технології в машинобудудуванні-2020», Київ, Україна, 28–29 квіт. 2020. Київ, 2020, с. 106–108.
- 11. S. O. Nakonechnyy, O. A. Litvinova, D. V. Hushchyk, and A. I. Yurkova, “Composite cold spraying high-entropy AlNiCoFeCrTi coatings on steel”, in Book of abstracts of 7th Int. Samsonov conf. “Mater. sci. refractory compounds” (MSRC-2021), Kyiv, Ukraine, May 25–28, 2021. Kyiv, 2021, p. 85.
- 12. A. I. Yurkova, S. O. Nakonechnyy, D. V. Hushchyk, and O. Akinola, “Oxidization resistance of composite cold sprayed AlNiCoFeCrTi high-entropy coating”, in Book of abstracts of 7th Int. Samsonov conf. “Mater. sci. refractory compounds” (MSRC-2021), Kyiv, Ukraine, May 25–28, 2021. Kyiv, 2021, p. 85.
- 13. С. О. Наконечний, Ї. Шао та О. І. Юркова, “Формування фазового складу та структури високоентропійного сплаву під час механічного легування та спікання”, у зб. тез доп. Міжнар. науково-техн. конф. «Матеріали для роботи в екстремальних умовах – 11», Київ, Україна, 23–24 груд. 2021. Київ,

2021.

- 14. С. О. Наконечний, О. І. Юркова, О. Літвінова, Ц. Лань та Ї. Шао, “Вплив тиску на формування новітніх композиційних AlNiCoFeCr – TiB2 покриттів методом холодного газодинамічного напилення ”, у зб. тез доп. Міжнар. науково-техн. конф. «Матеріали для роботи в екстремальних умовах – 11», Київ, Україна, 23–24 груд. 2021. Київ, 2021.
- 15. S. Nakonechnyi, A. Yurkova, Y. Shaposhnykova, T. Soloviova, and P. Loboda, “HEA–Ceramic Composite Coating Deposited By Cold Spraying”, in Int. Samsonov conf. “Mater. sci. refractory compounds” (MSRC-2022), Kyiv, Ukraine, May 25–28, 2022. Kyiv, 2022, p. 63.
- 16. С. О. Наконечний, О. І. Юркова та Д. Луценко, “AlNiCoFeCr–(B4C-TiB2) покриття, отримані холодним газодинамічним напиленням”, у зб. тез доп. міжн. конф. «Надтверді, композиційні матеріали та покриття: отримання, властивості, застосування», Київ, Україна, 19–20 жовт. 2023. Київ, 2023, с. 65–66.

Наукова (науково-технічна) продукція: матеріали

Соціально-економічна спрямованість: створення принципово нової продукції (матеріалів, технологій тощо) для забезпечення експортного потенціалу та заміщенню імпорту

Охоронні документи на ОПІВ:

Впровадження результатів дисертації: Планується до впровадження

Зв'язок з науковими темами: 0118U000222, 0120U104753, 0121U110912, 0123U102598

VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Юркова Олександра Іванівна

2. Oleksandra I. Yurkova

Кваліфікація: д. т. н., професор, 01.04.07

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-0577-7631

Додаткова інформація: https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6507619560; https://scholar.google.com/citations?hl=uk&user=vrwZadwAAAAJ

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

VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів

Офіційні опоненти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Войнарович Сергій Григорович

2. Serhii H. Voinarovych

Кваліфікація: к. т. н., старший науковий співробітник, 05.03.06

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-4329-9255

Додаткова інформація: https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57200257480

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

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Стороженко Марина Сергіївна

2. Maryna S. Storozhenko

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

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0001-8129-0780

Додаткова інформація: https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55170966800; https://www.webofscience.com/wos/author/record/T-1078-2018; https://scholar.google.com.ua/citations?user=NeU98yIAAAAJ&hl=uk

Повне найменування юридичної особи: Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 05416930

Місцезнаходження: вул. Омеляна Пріцака, буд. 3, Київ, 03142, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

Рецензенти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Карпець Мирослав Васильович

2. Myroslav V. Karpets

Кваліфікація: д. ф.-м. н., професор, 01.04.07

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0001-9528-1850

Додаткова інформація: https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6603056281; https://scholar.google.com.ua/citations?user=O8bZWsQAAAAJ

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. Смирнов Ігор Володимирович
2. Igor V. Smirnov

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

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-1818-7403

Додаткова інформація: https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57201535183; https://scholar.google.ru/citations?hl=uk&user=CuIT8PUAAAAJ

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

VIII. Заключні відомості

Власне Прізвище Ім'я По-батькові голови ради	Зауличний Ярослав Васильович
Власне Прізвище Ім'я По-батькові головуючого на засіданні	Зауличний Ярослав Васильович
Відповідальний за підготовку облікових документів	Наконечний Сергій Олегович
Реєстратор	УкрІНТЕІ
Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є відповідальним за реєстрацію наукової діяльності	Юрченко Тетяна Анатоліївна