Облікова картка дисертації

I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0825U001582

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 08-05-2025

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. Науменко Максим Павлович

2. Naumenko Maksym P.

Кваліфікація:

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

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: 27-06-2025

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 8834

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: 53.49.05, 81.09.03.11

Тема дисертації:

1. Структурний стан та механічні властивості високоентропійних сплавів і боридів на основі 3d-перехідних металів з додаванням Al, Mo, W

2. Structural State and Mechanical Properties of High-Entropy Alloys and Borides Based on 3d-Transition Metals with the Addition of Al, Mo, W

Реферат/анотація:

1. Дисертаційна робота присвячена дослідженню структурного та фазового стану, механічних властивостей сплавів FeCoNiAlVMo, FeCoNiCrMoW, FeCoNiCrMnW, FeCoNiAlCrMnx(x=0,5;1), FeCoNiAlVMoB, FeCoNiCrMoWB, FeCoNiCrMnWB у вихідному стані та після окиснення, а також середньоентропійних диборидів на основі порошків HfB2, TiB2, ZrB2, NbB2,TaB2. У роботі наведено літературний огляд останніх досліджень за темою дисертаційної роботи. Представлено аналіз літературних джерел, присвячених основним характеристикам і властивостям багатокомпонентних систем із складом наближеним до еквімолярного, відомих як високоентропійні сплави (ВЕС). Описано основні методи їхнього синтезу та емпіричні параметри, що використовуються для прогнозування й утворення таких сплавів. Розглянуто структурні особливості ВЕС і

проведено їх порівняння з кристалічними та аморфними металічними сплавами. Розглянуто основні критерії, що визначають формування структури ВЕСів – твердофазного розчину. На основі одержаних даних сформульовано мету та завдання даного дослідження. Представлено результати дослідження сплавів високоентропійних матеріалів після аргонно-дугового переплаву. Проведений аналіз валентної електронної концентрації (VEC) для різних складів ВЕС, який дозволяє передбачити їхню кристалічну структуру. Загалом, для VEC > 7,5 ел/ат характерним є формування гранецентрованої кубічної (ГЦК) структури, що забезпечує високу пластичність та стабільність твердої фази. Класичним прикладом є еквіатомний сплав Кантора FeCoNiMnCr (VEC = 8 ел/ат), в якому формується однофазний твердий розчин з ГЦК-структурою. У сплавах зі значеннями VEC у діапазоні 6,8–7,5 ел/ат можлива поява суміші фаз (ГЦК + ОЦК), що спостерігається, наприклад, у FeCoNiCrMoWB (VEC = 6,9). За VEC < 6,8 переважає об'ємноцентрована кубічна (ОЦК) фаза, що характерно для сплаву FeCoNiAlMnCrB (VEC = 6,7 ел/ат). Легування сплаву Кантора алюмінієм зменшує VEC до 7,2 ел/ат і у сплаві FeCoNiAlMnCr фіксується однофазний твердий розчин з ОЦК структурою, упорядкованою за типом B2. Легування W однофазного ГЦК сплаву Кантора FeCoNiCrMn, приводить до зміни фазового складу із формуванням суміші твердих розчинів на основі ГЦК та ОЦК граток, а також виділення інтерметаліду типу μ-фази (Fe7W6). Додавання бору сприяє відхиленню від правила визначення складу за VEC і відбувається утворення трьох боридних фаз – FeW2B2 та WB з тетрагональною і орторомбічною структурами та (Cr,Fe)23B6 з кубічною граткою і структурою типу Cr23C6. При заміні марганцю на молібден, у сплаві FeCoNiCrMoW спостерігається значне збільшення долі ОЦК з 16 до 45 % ваг, а μ-фази з 23 до 40 % ваг. При подальшому введенні до сплаву бору, у порівнянні із FeCoNiCrMn, спостерігається збільшення кількості боридних фаз з трьох до п`яти, які мають різний тип кристалічної структури – (MoW)B, MeB2, Fe2B, Ni3B та Ni21Mo2B6. З метою порівняння впливу ентропійного фактора на одержання боридів іншими методами, проведено дослідження структури та фазового складу високоентропійних боридів, отриманих за температури 2000 С методом гарячого пресування (ГП) вихідних порошків диборидів. Однофазні дибориди (TiB2, ZrB2, HfB2, NbB2, TaB2) використовували для отримання різних твердих розчинів. Консолідацію середньоентропійних твердих розчинів (Ti, Zr, Hf)B2, (Zr, Hf, Nb)B2, (Zr, Hf, Ta)B2 , (Zr, Hf, Nb, Ta)B2 проводили гарячим пресуванням (ГП) в атмосфері CO/CO2. Наведено результати дослідження фазового та структурного стану високоентропійних матеріалів після окиснення. Під час тривалого високотемпературного окиснення при 900 С протягом 50 годин на поверхні сплавів AlCrMn0,5FeCoNi та AlCrMnFeCoNi формуються суцільні багатофазні оксидні плівки, які містять оксиди Mn3O4, FeMnO3, шпінель NiMn2O4 та Al2O3. При цьому в матриці сплавів відбувається спінодальний розпад впорядкованої ОЦК (B2) структури на суміш двох твердих розчинів, що мають ОЦК і ГЦК кристалічні структури та п-фазу з тетрагональною граткою. Під час окиснення сплаву Кантора FeCoNiMnCr при 1000 С протягом 1 години на його поверхні спостерігається формування тонкої плівки із двох оксидів за участю марганцю Mn3O4 та MnFeO3. При введенні до сплаву Кантора вольфраму (FeCoNiMnCrW), на його поверхні після окиснення в аналогічних умовах, спостерігається нерівномірне формування оксидного шару. Окиснення вольфраму відбувається з утворенням оксиду WO3, який при високих температурах (понад 1000 С) має здатність до випаровування. Під час окиснення на поверхні сплаву FeCoNiMnCrWB формується пориста окалина, в структурі якої спостерігаються утворення кількох типів оксидів – світлих дрібно зернистих голкоподібних та дещо оплавлених зерен різного розміру. На поверхні сплаву FeCoNiCrMoWB під час окиснення при 1000 С протягом 3 годин формується товста пориста окалина (до 1400 мкм), яка частково осипається з поверхні зразка. При окисненні сплавів FeCoNiAlVMo та FeCoNiAlVMoB спостерігається різниця у формуванні фазового складу, що пояснюється як різницею у тривалості процесу, так і у фазовому складі сплавів.

2. The PhD thesis is devoted to the study of the structural and phase state, as well as the mechanical properties of FeCoNiAlVMo, FeCoNiCrMoW, FeCoNiCrMnW, FeCoNiAlCrMnx (x=0.5;1), FeCoNiAlVMoB, FeCoNiCrMoWB, and FeCoNiCrMnWB alloys in their initial state and after oxidation, as well as medium-entropy diborides based on HfBп, TiBп, ZrBп, NbBп, and TaBп powders. The work provides a literature review of the latest research on the topic of the dissertation. An analysis of literature sources is presented, focusing on the key characteristics and properties of

multicomponent systems with compositions close to equimolar, known as high-entropy alloys (HEAs). The main synthesis methods and empirical parameters used to predict and form such alloys are described. Structural features of HEAs are considered, with a comparison made between crystalline and amorphous metallic alloys. The main criteria determining the formation of HEA structures — solid solutions — are examined. Based on the obtained data, the aim and objectives of the study are formulated. The results of research into high-entropy materials after arc-melting under argon are presented. An analysis of the valence electron concentration (VEC) was carried out for different HEA compositions, allowing prediction of their crystal structures. In general, for VEC > 7.5 e□/atom, face-centered cubic (FCC) structures are formed, which ensure high plasticity and solid-phase stability. A classical example is the equiatomic Cantor alloy FeCoNiMnCr (VEC = 8 e□/atom), which forms a single-phase solid solution with an FCC structure. Alloys with VEC in the range of 6.8–7.5 e□/atom may exhibit a mixture of FCC and body-centered cubic (BCC) phases, as observed in FeCoNiCrMoWB (VEC = 6.9). For VEC < 6.8, BCC phase predominates, as in FeCoNiAlMnCrB (VEC = 6.7 e□/atom). Alloying the Cantor alloy with aluminum reduces the VEC to 7.2 e□/atom, resulting in a single-phase solid solution with a BCC structure ordered according to the B2 type. Alloying the FCC single-phase Cantor alloy FeCoNiCrMn with tungsten leads to a change in phase composition with the formation of a mixture of solid solutions based on FCC and BCC lattices, along with the emergence of a μ-phase intermetallic compound (Fe□W□). The addition of boron causes deviations from VEC-based composition predictions and leads to the formation of three boride phases — FeW□B□ and WB with tetragonal and orthorhombic structures, and (Cr,Fe)□□B□ with a cubic lattice and Cr□□C□-type structure. Replacing manganese with molybdenum in the FeCoNiCrMoW alloy leads to a significant increase in the BCC phase fraction from 16 to 45 wt% and the μ-phase from 23 to 40 wt%. Further addition of boron results in an increase in the number of boride phases from three to five compared to FeCoNiCrMn, with different crystal structures: (MoW)B, MeB□, Fe□B, Ni□B, and Ni□□Mo□B□. To compare the impact of the entropy factor on boride formation using alternative methods, the structure and phase composition of high-entropy borides synthesized at 2000°C via hot pressing (HP) of initial diboride powders were studied. Single-phase diborides (TiB□, ZrB□, HfB□, NbB□, TaB□) were used to produce various solid solutions. Consolidation of medium-entropy solid solutions (Ti, Zr, Hf)B□, (Zr, Hf, Nb)B□, (Zr, Hf, Ta)B□, and (Zr, Hf, Nb, Ta)B□ was performed via hot pressing in a CO/CO□ atmosphere. The results of phase and structural state studies of high-entropy materials after oxidation are provided. During prolonged high-temperature oxidation at 900°C for 50 hours, continuous multiphase oxide films form on the surfaces of AlCrMn□.□FeCoNi and AlCrMnFeCoNi alloys. These films contain Mn□O□, FeMnO□, NiMn□O□ spinel, and Al□O□ oxides. Meanwhile, spinodal decomposition of the ordered BCC (B2) structure occurs in the alloy matrix, forming a mixture of two solid solutions with BCC and FCC structures and a □-phase with a tetragonal lattice. Oxidation of the Cantor alloy FeCoNiMnCr at 1000°C for 1 hour results in the formation of a thin surface film containing two manganese-based oxides, Mn□O□ and MnFeO□. When tungsten is added to the Cantor alloy (FeCoNiMnCrW), non-uniform oxide layer formation is observed under similar oxidation conditions. Tungsten oxidizes to form WO□, which has a tendency to evaporate at high temperatures (above 1000°C). Oxidation of FeCoNiMnCrWB results in the formation of a porous scale containing several oxide types — light, fine needle-like grains and partially molten grains of various sizes. Oxidation of the FeCoNiCrMoWB alloy at 1000°C for 3 hours forms a thick porous scale (up to 1400 μm), which partially spalls off the sample surface. In FeCoNiAlVMo and FeCoNiAlVMoB alloys, differences in the phase composition during oxidation are observed, which are attributed to differences in oxidation duration and initial phase composition of the alloys.

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:

- High-Temperature Oxidation of High-Entropy AlCrFeCoNiMnx Alloys / O.A. Rokytska, M.V. Karpets, M.I. Yakubiv, M.O. Krapivka, A.V. Samelyuk, M.P. Naumenko // Powder Metallurgy and Metal Ceramics 62, p.p. 360–371. – 2023.
- Densifcation, microstructure and hardness of middle entropy ceramics based on transition metals diboride / D. Vedel, P. Mazur, O. Grigoriev, I. Kozak, L. Melakh, M. Naumenko, M. Karpets, M. Skoryk, A. Zavdoveev // Functional materials. 31 (3), 371-376. – 2024
- Efect of Ge and In on the structure and thermodynamic characteristics of high-entropy MnCoNiCu alloys. / S.V. Maksymova, P.V. Kovalchuk, V.V. Voronov, M.V. Karpets, M.P. Naumenko. // Welding in the World. – 2024. Scopus, Q2
- Д. Ведель, П. Мазур, О. Григор'єв, І. Козак, Л. Мелах, М. Науменко, М. Карпець, Скорик М., Завдовєєв А. / Вплив температури та часу витримки на формування твердого розчину для середньоентропійних диборидів. // Міжнародна наукова конференція "Матеріали для роботи в екстремальних умовах – 12", м. Київ, 15 – 16.12 2022. НН ІМЗ ім. Є.О. Патона, Київ, - 2022, - с. 115-117.
- Науменко М. П., Рокицька О. А., Дудка О. І., Карпець М. В. / Фазові перетворення у високоентропійних боридах на основі сплаву Кантора // Proceedings of the 12th International scientific and practical conference. "Perspectives of contemporary science: theory and practice", 13-15.01.2025, Lviv, Ukraine. – 2025, - pp. 455-461.

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:

VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)

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

VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів

Офіційні опоненти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Фірстов Георгій Сергійович
2. Firstov Heorhii S.

Кваліфікація: д. ф.-м. н., старший науковий співробітник, 01.04.13

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

Додаткова інформація: https://scholar.google.com.ua/citations?user=McZtoaIAAAAJ

Повне найменування юридичної особи: Інститут металофізики ім. Г. В. Курдюмова Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 05417331

Місцезнаходження: бульвар Академіка Вернадського, буд. 36, Київ, 03142, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Сергієнко Руслан Арсенійович
2. Ruslan A. Serhiienko

Кваліфікація: к. т. н., старший науковий співробітник, 05.16.06

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0003-3613-9330

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

Рецензенти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Волошко Світлана Михайлівна

2. Svitlana M. Voloshko

Кваліфікація: д.ф.-м.н., професор, 01.04.18

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0003-3170-8362

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. Ямшинський Михайло Михайлович

2. Mykhailo M. Yamshynskyi

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

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-2293-2939

Додаткова інформація: https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6508061815

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	Юркова Олександра Іванівна
Власне Прізвище Ім'я По-батькові головуючого на засіданні	Юркова Олександра Іванівна
Відповідальний за підготовку облікових документів	Науменко Максим Павлович
Реєстратор	УкрІНТЕІ

Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є відповідальним за реєстрацію наукової діяльності



Юрченко Тетяна Анатоліївна