

ВИСНОВОК

**про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації «Формування високоентропійних сплавів в умовах швидкого охолодження розплаву при лазерному легуванні металів» здобувача ступеня доктора філософії з галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 105 «Прикладна фізика та наноматеріали»
Ємельянченка Владислава Васильовича**

1. *Актуальність теми дисертації*

Високоентропійні сплави мають підвищені у порівнянні з традиційними сплавами значення ентропії змішування, що досягаються внаслідок збільшення кількості складових елементів (від 5 і більше), концентрація яких може змінюватися від 5 до 35 ат. %. Такі сплави складаються з твердих розчинів (проста кристалічна структура ОЦК, ГЦК) і характеризуються високими термостабільністю, твердістю, зносостійкістю, міцністю, стійкістю до окислення і корозії як за нормальних умов, так і за підвищених температур, що дає змогу розглядати їх як матеріали нового покоління для конструкційних і функціональних застосувань.

При дослідженнях ВЕСів, одержаних методом лазерного легування, на особливу зацікавленість заслуговують сплави, у яких формується суміш ОЦК та ГЦК – фаз, оскільки високі швидкості охолодження характерні для даного методу можуть впливати на кількісне співвідношення між фазами з різними кристалічними ґратками, а структура сплавів безпосередньо впливає на їх властивості. Незважаючи на досить значну кількість досліджень щодо процесів структуроутворення ВЕСів у нерівноважних умовах, проблема формування типу структури ВЕСів, утвореної при лазерному легуванні з урахуванням гетерогенного характеру процесів зародкоутворення та кристалізації, залишається практично не вивченою.

Робота присвячена експериментальному дослідженню структурно-фазового стану, розрахунку температурних залежностей часу зародкоутворення для конкуруючих фаз та моделюванню процесів кристалізації у високоентропійних сплавах систем Co-Cr-Fe-Ni, Al-Co-Cr-Fe-Ni, Al-Co-Cr-Cu-Fe-Ni при отриманні їх методом лазерного легування. Одержані у роботі результати є важливими не тільки з погляду поглиблення уявлень щодо закономірностей структуроутворення у нерівноважних умовах, але і з огляду на необхідність пошуку нових економічно доцільних методів підвищення фізико-механічних властивостей поверхневих шарів матеріалів за рахунок оптимізації їх локальних ділянок.

Тему дисертації затверджено на засіданні Вченої ради Запорізького національного університету, протокол № 7 від 26.12.2019 р.

2. Зв'язок теми дисертації з державними програмами, науковими напрямами університету та кафедри

Дослідження, результати яких представлені в дисертаційній роботі, виконано на кафедрі загальної та прикладної фізики Запорізького національного університету відповідно до держбюджетної теми «Формування дисперсних квазікристалічних та кристалічних фаз в умовах нерівноважної кристалізації при лазерному легуванні металевих сплавів» (2017-2019 рр., № держреєстрації 0117U000511), а також на кафедрі фізики металів Львівського національного університету імені Івана Франка відповідно до держбюджетної теми «Оптимізація фізичних властивостей нанокompозитів на основі металевих евтектик для безсвинцевих припоїв» (2022-2023 рр., № держреєстрації 0122U001521)

3. Особистий внесок здобувача в отриманні наукових результатів

Дисертація є самостійною науковою працею, в якій висвітлені власні думки та розробки автора, що дали змогу вирішити поставлені задачі. Зокрема, дисертантом було запропоновано модель, що враховує реальні умови охолодження розплаву і гетерогенний характер зародкоутворення при лазерному легуванні, та дає змогу більш коректно розрахувати температурні залежності часу зародкоутворення для конкуруючих фаз і встановити критичні швидкості охолодження для сплавів системи Al-Co-Cr-Fe-Ni та Al-Co-Cr-Cu-Fe-Ni. Автор проаналізував вплив хімічного складу сплавів систем Al-Co-Cr-Fe-Ni та Al-Co-Cr-Cu-Fe-Ni на значення критичних швидкостей охолодження розплаву. Також дисертант теоретично встановив кореляцію між густиною центрів гетерогенної кристалізації та об'ємною часткою ГЦК фази у сплавах систем Al-Co-Cr-Cu-Fe-Ni. Здобувач брав активну участь в інтерпретації отриманих результатів, написанні наукових статей, доповідав на семінарах та конференціях.

Результати досліджень, наведені у дисертаційній роботі та опубліковані у наукових статтях, належать авторові і є його науковим доробком.

4. Достовірність та обґрунтованість отриманих результатів та запропонованих автором вирішень, висновків, рекомендацій

Достовірність та обґрунтованість отриманих в роботі результатів підтверджується апробацією даних на численних міжнародних наукових конференціях та семінарах, а також публікаціями в престижних міжнародних фахових виданнях. Обґрунтованість запропонованих в роботі вирішень забезпечено використанням низки сучасних експериментальних апробованих

загальноновизнаних методик для проведення структурних досліджень, коректністю теоретичних підходів та викладок, що пояснюють експериментальні результати. Одержані в роботі результати узгоджуються як між собою, так і з відомими теоретичними та експериментальними результатами досліджень інших авторів.

5. Ступінь новизни основних результатів дисертації порівняно з відомими дослідженнями аналогічного характеру

В дисертаційній роботі вперше:

- систематично експериментально досліджено структурно-фазовий стан високоентропійних покриттів одержаних при лазерному легуванні алюмінію та заліза еквіатомними сумішами порошків перехідних металів
- розраховано температурні залежності часу зародкоутворення для конкуруючих фаз і встановлено критичні швидкості охолодження для сплавів систем Al-Co-Cr-Fe-Ni та Al-Co-Cr-Cu-Fe-Ni з урахуванням гетерогенного характеру зародкоутворення при лазерному легуванні
- проаналізовано вплив хімічного складу сплавів систем Al-Co-Cr-Fe-Ni та Al-Co-Cr-Cu-Fe-Ni на значення критичних швидкостей охолодження розплаву
- теоретично встановлено кореляцію між густиною центрів гетерогенної кристалізації та об'ємною часткою ГЦК фази у сплавах системи Al-Co-Cr-Cu-Fe-Ni

6. Перелік наукових праць, які відображають основні результати дисертації

6.1. Статті у наукових фахових виданнях України:

1. Girzhon V., Yemelianchenko V., Smolyakov O. Structure of High-Entropy AlCoCrFeNi Alloy Obtained by Laser Alloying. *Metallofizika i Noveishie Tekhnologii*. 2021. Vol. 43. – P. 399—406. (Особистий внесок здобувача: синтез зразків, участь в експериментальних дослідженнях структури та мікроструктури, експериментальні вимірювання мікротвердості, обробка, аналіз та інтерпретація результатів, участь у формуванні основних положень та висновків). Видання індексується у наукометричних базах Scopus та Web of Science; кuartиль Q3.
2. Girzhon V., Yemelianchenko V., Kushch O., Bykov I. Laser Nitriding of Titanium Alloys. *Metallofizika i Noveishie Tekhnologii*. 2020. Vol. 42. – 553—563. (Особистий внесок здобувача: синтез зразків, участь в експериментальних дослідженнях структури та мікроструктури, експериментальні вимірювання мікротвердості, обробка, аналіз та інтерпретація результатів, участь у формуванні основних положень та

висновків). Видання індексується у наукометричних базах Scopus та Web of Science; кuartиль Q3.

3. Girzhon V., Yemelianchenko V., Smolyakov O. Structure of High-Entropy CoCrFeNi Alloy Obtained by Laser Alloying. *Metallofizika i Noveishie Tekhnologii*. 2022. Vol. 44. – P. 725-733. (Особистий внесок здобувача: синтез зразків, участь в експериментальних дослідженнях структури та мікроструктури, експериментальні вимірювання мікротвердості, обробка, аналіз та інтерпретація результатів, участь у формуванні основних положень та висновків). Видання індексується у наукометричних базах Scopus та Web of Science; кuartиль Q3.

6.2. Публікації у наукових періодичних виданнях інших держав, що проіндексовані в наукометричних базах Scopus та/або Web of Science:

1. Girzhon V., Yemelianchenko V., Smolyakov O., Razzokov A. Analysis of structure formation processes features in high-entropy alloys of Al-Co-Cr-Fe-Ni system during laser alloying. *Results in Materials*. 2022. Vol. 15. – 100311. (Scopus, кuartиль Q2) (Особистий внесок здобувача: участь в розробці теоретичної моделі для розрахунку температурних залежностей часу зародкоутворення для конкуруючих фаз, проведення розрахунків, безпосередня участь у обробці, аналізі та інтерпретації отриманих результатів, участь у формуванні основних положень та висновків).

2. Girzhon V., Yemelianchenko V., Smolyakov O. High entropy coating from AlCoCrCuFeNi alloy, obtained by laser alloying. *Acta Metallurgica Slovaca*. 2023. – Vol. 29. – P. 44–49. (Scopus, кuartиль Q3) (Особистий внесок здобувача: синтез зразків, участь в експериментальних дослідженнях структури та мікроструктури, експериментальні вимірювання мікротвердості, участь в розробці теоретичної моделі для моделювання процесу кристалізації, проведення розрахунків, безпосередня участь у обробці, аналізі та інтерпретації отриманих результатів, участь у формуванні основних положень та висновків).

7. Апробація основних результатів дослідження на конференціях, симпозіумах, семінарах тощо

1. Ємельянченко В.В, Гіржон В.В, Куц О.В. Лазерна обробка титанових сплавів у різних газових середовищах. Тези доп. Міжнародної конференції студентів і молодих науковців з теоретичної та експериментальної фізики «Єврика-2019». Львів, 2019. С. А7. (усна доповідь)

2. Ємельянченко В.В, Гіржон В.В, Смоляков О.В. Структура високоентропійного сплаву AlCoCrFeNi, отриманого методом лазерного

легування. Тези доп. Міжнародної конференції студентів і молодих науковців з теоретичної та експериментальної фізики «Еврика-2020». Львів, 2020. С. А18. (усна доповідь)

3. Ємельянченко В.В, Гіржон В.В, Смоляков О.В. Покриття з високоентропійного сплаву системи Co-Cr-Fe-Ni, одержане методом лазерного легування. Матеріали III Всеукраїнської конференції молодих учених «Сучасне матеріалознавство. Матеріали та технології.» (СММТ-2021). Київ, 2021. С. 38. (усна доповідь)

4. Ємельянченко В.В, Гіржон В.В, Смоляков О.В. Структура високоентропійного сплаву CoCrFeNi, отриманого методом лазерного легування. Тези доп. Міжнародної конференції студентів і молодих науковців з теоретичної та експериментальної фізики «Еврика-2021». Львів, 2021. С. А5. (усна доповідь)

5. Ємельянченко В.В, Гіржон В.В, Смоляков О.В. Високоентропійне покриття зі сплаву системи Al-Co-Cr-Cu-Fe-Ni одержане методом лазерного легування. Тези доп. Міжнародної конференції студентів і молодих науковців з теоретичної та експериментальної фізики «Еврика-2022». Львів, 2022. С. А4. (усна доповідь)

8. Наукове значення виконаного дослідження із зазначенням можливих наукових галузей та розділів програм навчальних курсів, де можуть бути застосовані отримані результати

В роботі отримано експериментальні та теоретичні дані, що значною мірою розширюють уявлення про теоретичні основи формування фазового складу, структури та фізичних властивостей високоентропійних сплавів. Отримати дані про вплив високих швидкостей охолодження розплаву та гетерогенного характеру процесів зародкоутворення і кристалізації на структурно-фазових стан та механічні властивості досліджених у роботі високоентропійних сплавів мають важливе значення як для розвитку сучасної фундаментальної науки так і для практичного використання цього класу сплавів. Результати виконаного дослідження можуть бути використані у навчальних курсах спеціальностей 104 “Фізика та астрономія” та 105 “Прикладна фізика та наноматеріали”, зокрема, при вивченні дисциплін “Лазерна обробка матеріалів” та “Новітні матеріали та технології”.

9. Практична цінність результатів дослідження із зазначенням конкретного підприємства або галузі, де вони можуть бути застосовані

Отримані в роботі наукові результати і встановлені фізичні закономірності становлять практичний інтерес при створенні методичних та

наукових засад розробки високоентропійних сплавів для цілеспрямованого керування їхніми структурою та властивостями, а також практичного використання цього класу сплавів - створення захисних покриттів на виробках з промислових сплавів у локальних місцях з високим ступенем адгезії. Робота є важливою і з фундаментальної точки зору, оскільки одержані у роботі результати є корисними для більш повного розуміння процесів кінетики фазоутворення ВЕСів.

10. Оцінка структури дисертації, її мови та стилю викладення

Дисертація за структурою, мовою та стилем викладення відповідає вимогам МОН України.

Дисертацію заслухано та обговорено на фаховому семінарі кафедри фізики металів Львівського національного університету імені Івана Франка (протокол № 9 від 06.09.2023 р).

У ході обговорення дисертації суттєвих зауважень, які стосуються суті роботи, не було висунуто.

В цілому дисертаційна робота Ємельянченка Владислава Васильовича «Формування високоентропійних структур в поверхневих шарах алюмінію, заліза та титану при лазерному легуванні» є завершеною науковою працею в межах поставлених завдань, у якій розв'язана наукова проблема впливу високих швидкостей охолодження розплаву та гетерогенного характеру процесів зародкоутворення і кристалізації на фазовий склад високоентропійних сплавів систем Co-Cr-Fe-Ni, Al-Co-Cr-Fe-Ni, Al-Co-Cr-Cu-Fe-Ni при отриманні їх методом лазерного легування.

Основні результати наукового дослідження відображені у 5 наукових статтях, з них 3 опубліковано у наукових фахових виданнях України та 2 – у закордонних періодичних виданнях (Словаччина, Нідерланди), що проіндексовані у наукометричних базах Scopus та/або Web of Science. На основі вищесказаного можна зробити такі висновки щодо поданої дисертаційної роботи:

1. За актуальністю обраної теми, обсягом, достовірністю та рівнем апробації отриманих результатів, науковою новизною, обґрунтованістю висновків, практичною цінністю дисертаційна робота «Формування високоентропійних сплавів в умовах швидкого охолодження розплаву при лазерному легуванні металів» відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» та п. 6 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року №44 (з наступними змінами).

2. Дисертація відповідає спеціальності 105 Прикладна фізика та наноматеріали (галузь знань 10 «Природничі науки»).

3. Наукові праці Ємельянченка В.В., опубліковані за результатами дисертаційної роботи, за кількістю та якістю відповідають пп. 8-9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року №44 (з наступними змінами).

4. Дисертація «Формування високоентропійних сплавів в умовах швидкого охолодження розплаву при лазерному легуванні металів» Ємельянченка Владислава Васильовича рекомендується для подання до розгляду та захисту у спеціалізованій вченій раді.

Головуючий на засіданні фахового семінару,
професор кафедри фізики металів,
доктор фіз.-мат. наук, професор

Петро ЯКІБЧУК

06.09.2023 року

Підпис проф. Петра ЯКІБЧУКА засвідчую.

Вчений секретар
Львівського національного
університету імені Івана Франка,
доцент



Ольга ГРАБОВЕЦЬКА