

РІШЕННЯ СПЕЦІАЛІЗОВАНОЇ ВЧЕНОЇ РАДИ ПРО ПРИСУДЖЕННЯ СТУПЕНЯ ДОКТОРА ФІЛОСОФІЇ

Спеціалізована вчена рада ДФ 35.051.118 Львівського національного університету імені Івана Франка Міністерства освіти і науки України, м. Львів, прийняла рішення про присудження ступеня доктора філософії з галузі знань 10 «Природничі науки» на підставі прилюдного захисту дисертації «Формування високоентропійних сплавів в умовах швидкого охолодження розплаву при лазерному легуванні металів» за спеціальністю 105 «Прикладна фізика та наноматеріали» 29 листопада 2023 року.

Ємельянченко Владислав Васильович, 07.05.1996 року народження, громадянин України, освіта повна вища. У 2019 році закінчив Запорізький національний університет та здобув ступінь вищої освіти «Магістр» за спеціальністю «Фізика та астрономія».

З 30.09.2019 року по 03.07.2023 року навчався в аспірантурі на кафедрі загальної та прикладної фізики Запорізького національного університету (денна форма навчання).

З 04.07.2023 року по 30.09.2023 року навчався в аспірантурі на кафедрі фізики металів Львівського національного університету імені Івана Франка (денна форма навчання).

Дисертацію виконано на кафедрі загальної та прикладної фізики Запорізького національного університету Міністерства освіти і науки України, м. Запоріжжя, та на кафедрі фізики металів Львівського національного університету імені Івана Франка Міністерства освіти і науки України, м. Львів.

Наукові керівники: **Штаблавий Ігор Іванович**, доктор фізико-математичних наук, доцент, професор кафедри фізики металів Львівського національного університету імені Івана Франка.

Гіржон Василь Васильович, доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри фізичного матеріалознавства Національного університету «Запорізька політехніка».

Здобувач має 10 наукових публікацій за темою дисертації, з них 2 статті у періодичних наукових виданнях інших держав, 3 статті у наукових фахових виданнях України, 0 монографій:

1. V. V. Girzhon, V. V. Yemelianchenko, O. V. Smolyakov. Structure of High-Entropy CoCrFeNi Alloy Obtained by Laser Alloying // Metallofiz. Noveishie Tekhnol. 2022. Vol. 44. P. 725 – 733. (Scopus, Q3)
2. V.V. Girzhon, V.V. Yemelianchenko, O.V. Smolyakov, A.S. Razzokov. 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, Q2)
3. V.V. Girzhon, V.V. Yemelianchenko, O.V. Smolyakov. High entropy coating from AlCoCrCuFeNi alloy, obtained by laser alloying / // Acta Metallurgica Slovaca. 2023. Vol. 29. P. 44 – 49. (Scopus, Q3)

У дискусії взяли участь голова і члени спеціалізованої вченої ради та присутні на захисті фахівці:

1. Мудрий Степан Іванович, доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри фізики металів Львівського національного університету імені Івана Франка Міністерства освіти і науки України, без зауважень.

2. Семенько Михайло Петрович, доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри фізики металів фізичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка Міністерства освіти і науки України, надав позитивний відгук із зауваженням:

1. Для визначення параметрів комірки одержаних структур використано дифракційні максимуми в так званій «прецизійній області» - при великих кутах дифракції. Це хоча і дозволяє звести похибку методу до мінімуму, але не завжди дозволяє визначити з великою точністю параметр комірки. Зумовлено це тим, що на положення дифракційних максимумів (перш за все, але не тільки) може суттєво впливати якість юстування гоніометра та якість виготовлення зразків. Це і обумовлює додаткові зсуви дифракційних максимумів в ту чи іншу сторону кутів дифракції. Як на мене, такі прецизійні дослідження по положенню одного дифракційного максимуму можна зробити лише з використанням еталонів і то, при умові аналізу форми дифракційного профілю.
2. Формування покриттів на підкладках при високих температурах внаслідок різниці коефіцієнтів термічного розширення, невідповідностей параметрів ґратки і т.д. зазвичай супроводжується виникненням напруженого стану (в тому числі і макронапруг). Нажаль в роботі це питання не аналізується, хоча і воно може бути важливим для подальшої експлуатації виробів.
3. В п.3 загальних висновків відмічено, що внаслідок високої температури топлення матриці формування на ній високоентропійних фаз внаслідок лазерного легування не відбувається. Але, як на мене, це не головна причина, оскільки потужність лазерного достатня для оплавлення поверхні титану, про що свідчать і результати досліджень лазерної обробки титанових сплавів. Скоріш за все визначальну роль в цьому відношенні відіграє невідповідність параметрів покриття та матриці, та/або стан поверхні титанової матриці.
4. Назва роботи присвячена лазерному легуванню. Але, як на мене, хоча і легування матриці відбувається в процесі лазерної обробки, результати фазового аналізу, результати досліджень складу, властивостей і т.д. однозначно свідчать про формування на поверхні відповідних матриць покриттів із високоентропійних сплавів методом лазерної обробки.
5. В теоретичному аналізі наведено різні оцінки для багатокомпонентних сплавів. Було б цікаво провести такі оцінки в наближенні, коли із багатокомпонентного розплаву утворюються зародки кристалічних фаз що найменше з чистих компонентів, а бажано було б і двох компонентних фаз. А потім порівняти відповідні величини (наприклад, швидкості охолодження) з відповідними параметрами для складів, що відповідають високоентропійним сплавам.

3. Попович Дмитро Іванович, доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач відділу фізико-математичного моделювання низьковимірних систем Інституту прикладних проблем механіки і математики імені Я.С. Підстригача Національної академії наук України, надав позитивний відгук із зауваженнями:

1. У тексті роботи недостатньо детально пояснено наведений на стор. 78 розподіл легуючих хімічних елементів за глибиною поперечного перерізу зони лазерного легування (рис. 3.9), зокрема не вказано причини низького вмісту всіх компонентів на глибині близько 17 мкм.
2. На стор. 77 наведено зображення ділянки з підвищеною кількістю пор у поперечному перерізі зони лазерного легування (рис. 3.8с). Наведене у роботі пояснення причин утворення цих пор на мою думку не є переконливим.
3. В таблиці 3.3 наведеній на стор. 85 один з стовбців підписано як «Параметри ґраток, нм», хоча параметри ґраток у таблиці очевидно записані в ангстремах.
4. У розділі 3 на частині дифрактограм вказані індекси площин (рис. 3.7, рис. 3.14, рис. 3.15, рис. 3.19, рис. 3.20) в той час як на інших дифрактограмах вони не зазначені (рис. 3.1, рис. 3.12). Доцільніше б було дотримуватись єдиної стилістики при оформленні всіх дифрактограм.
5. При розрахунках температурних залежностей критичного часу зародкоутворення у розділі 4.1 припускалось, що склад твердих розчинів є ідентичним до складу розплаву. Разом з тим відомо, що у ВЕСах систем Al-Co-Cr-Fe-Ni та Al-Co-Cr-Cu-Fe-Ni при формуванні двох твердих розчинів їх хімічний склад може не відповідати хімічному складу розплаву. Наприклад у еквіатомному сплаві AlCoCrCuFeNi впорядкована ОЦК фаза є насиченою алюмінієм, в той час як ГЦК фаза має високий вміст міді. Крім того, високі швидкості охолодження можуть впливати на хімічний склад цих фаз. Чи не створює таке припущення суттєвої похибки при визначенні критичних швидкостей охолодження?
6. У розділі 4.1 на графіках для позначення твердих розчинів використовуються підписи англійською мовою (BCC, FCC) в той час як в тексті вони зазначаються українською (ОЦК, ГЦК).

4. Плевачук Юрій Олександрович, доктор фізико-математичних наук, професор, начальник науково-дослідної частини Львівського національного університету імені Івана Франка Міністерства освіти і науки України, надав позитивну рецензію із зауваженнями:

1. Для нанесення металевих порошків на поверхню оброблюваної деталі автор використовував клей БФ-6. Проте в роботі не вказано як впливають залишки цього клею на формування структури та властивостей високоентропійних сплавів на поверхні.
2. Очевидно, що під час формування високоентропійних сплавів на поверхні матеріалу, який є одним з компонентів ВЕС, необхідно враховувати неоднорідність складу отриманих сплавів від глибини. На жаль, автор роботи не завжди проводить такий аналіз.
3. В роботі не зроблено аналізу залежності товщини та фазового складу високоентропійних сплавів, отриманих на поверхнях металів, від режимів лазерного опромінення. Також не вказано чому саме було використано режими

лазерної обробки, описані на початку кожного параграфу експериментальної частини.

4. Формування мікроструктури високоентропійних сплавів у зоні лазерного легування автор пояснює дією ефекту Марангоні-Гіббса. На мою думку варто було б здійснити детальніший аналіз вказаного ефекту, що дало б додаткову корисну інформацію про механізми формування досліджених сплавів.

5. Никируй Юлія Семенівна, кандидат фізико-математичних наук, старший дослідник, доцент кафедри фізики металів Львівського національного університету імені Івана Франка Міністерства освіти і науки України, надала позитивну рецензію із зауваженнями:

1. У роботі не розглянуто вплив високих швидкостей нагрівання, які характерні для лазерної обробки, на формування розплаву, тобто плавлення за нерівноважних умов. Оскільки для багатокомпонентних розплавів характерні нерівноважні, метастабільні стани, пов'язані зі структурою вихідних твердих фаз, а також залежність будови і властивостей розплавів від температури і тривалості витримки, швидкості зміни температури, то оцінка швидкостей нагрівання дала б уявлення, як формується розплав на поверхні, яка його температура. Оскільки ці процеси є доволі складними для експериментального вивчення, то моделювання могло б доповнити картину процесу лазерного легування.
2. Для утворення ВЕСів у поверхневих шарах металів застосовується метод нанесення обмазки товщиною 120 -150 мкм. Автором не розкрито, яким методом контролювали товщину обмазки, та яка різновтовщинність нанесеного шару. Експерименти проведені лише при двох товщинах, що не дає уявлення про вплив товщини обмазки на утворення ВЕС покриття.
3. У дослідженні не розглянуто утворення гартівних напружень, які можуть виникати при ЛО та впливати на значення мікротвердості поверхневих шарів.
4. У тексті, а також у Переліку умовних скорочень, не розшифровано аббревіатури ТТТ-діаграми, ГРС-методи, ГЦУ, а на рис. 3.9 (Розподіл легуючих елементів за глибиною поперечного перерізу ЗЛЛ) не позначена величина по осі У

Загальна оцінка роботи і висновок. Дисертаційне дослідження **Ємельянченка Владислава Васильовича** на тему «Формування високоентропійних сплавів в умовах швидкого охолодження розплаву при лазерному легуванні металів» є самостійною та ґрунтовною науковою працею, що виконана з дотриманням вимог академічної доброчесності. Наукова новизна одержаних результатів полягає у наступному:

1. Встановлено, що лазерне легування алюмінію та заліза сумішами порошків перехідних металів є ефективним методом одержання на їх поверхні високоадгезійних покриттів, що містять типові для високоентропійних сплавів фази та мають підвищені значення мікротвердості.
2. Вперше показано, що при лазерному легуванні алюмінію та заліза еквіатомними сумішами порошків перехідних металів відбувається формування дисперсних структур з типовими для високоентропійних сплавів багатокомпонентними розчинами заміщення на базі ОЦК та ГЦК ґраток; це призводить до суттєвого

підвищення мікротвердості поверхневих шарів порівняно з матричними значеннями.

3. Внаслідок високої температури плавлення матриці при лазерному легуванні поверхневих шарів технічно чистого титану еквіатомними сумішами порошків перехідних металів формування багатокомпонентних твердих розчинів заміщення, характерних для високоентропійних сплавів, не відбувається навіть за умов охолодження розплаву зі швидкостями $10^4 \dots 10^5$ К/с.
4. Лазерна обробка технічно чистого титану VT1-0 та титанового сплаву VT-6 в атмосферах повітря та азоту викликає зростання мікротвердості в зоні лазерної обробки внаслідок комплексного впливу трьох факторів: підвищення ступеня дисперсності структури, утворення нітридів та пересичених твердих розчинів втілення азоту та кисню у ґратці α -титану.
5. Вперше запропоновано модель, що враховує реальні умови охолодження розплаву і гетерогенний характер зародкоутворення при лазерному легуванні, та дає можливість 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.
6. Проаналізовано вплив хімічного складу сплавів систем Al-Co-Cr-Fe-Ni та Al-Co-Cr-Cu-Fe-Ni на значення критичних швидкостей охолодження розплаву. Вперше показано, що інтервали швидкостей охолодження розплаву, при яких відбувається формування однофазного чи двофазного станів можуть змінюватися в досить широких межах.
7. Вперше теоретично встановлено кореляцію між густиною центрів гетерогенної кристалізації та об'ємною часткою ГЦК фази у сплавах систем Al-Co-Cr-Cu-Fe-Ni. Показано, що збільшення густини центрів гетерогенної кристалізації призводить до зростання об'ємної частки ГЦК фази.

Результати досліджень, які наведені у дисертаційній роботі та опубліковані у наукових статтях, належать автору і є його науковим доробком. Викладені в дисертації висновки й положення наукової новизни отримано на підставі особистих досліджень автора.

Обґрунтованість і достовірність отриманих наукових результатів дослідження базуються на відповідних наукових публікаціях. У дослідженнях проблематики дисертації застосовуються XRD та EDS аналіз, оптична та електронна мікроскопія, теоретичні розрахунки температурних залежностей часу зародкоутворення та моделювання процесів кристалізації.

Викладені у дисертації результати можуть бути використані: при створенні методичних та наукових засад розробки високоентропійних сплавів для цілеспрямованого керування їхніми структурою та властивостями, практичного використання цього класу сплавів - створення захисних покриттів на виробках з промислових сплавів у локальних місцях з високим ступенем адгезії.

За кількістю і рівнем публікацій, апробацією на наукових конференціях дисертація **«Формування високоентропійних сплавів в умовах швидкого охолодження розплаву при лазерному легуванні металів»** відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 року «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» та «Порядку присудження ступеня доктора філософії та

скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» (Постанова Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44), а її автор, Ємельянченко Владислав Васильович, заслуговує присудження ступеня доктора філософії з галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 105 «Прикладна фізика та наноматеріали».

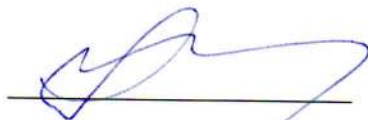
Результати відкритого голосування:

«За» – 5 членів ради,

«Проти» – 0 членів ради.

На підставі результатів відкритого голосування спеціалізована вчена рада ДФ 35.051.118 Львівського національного університету імені Івана Франка Міністерства освіти і науки України, м. Львів, присуджує **Ємельянченку Владиславу Васильовичу** ступінь доктора філософії з галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 105 «Прикладна фізика та наноматеріали».

Голова спеціалізованої
вченої ради
ДФ 35.051.118



проф. Степан МУДРИЙ

