

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу

Ліхацького Івана Федоровича

на тему «Розроблення ливарних високоентропійних сплавів з підвищеним

вмістом алюмінію і технологій їх одержання»,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань 13 – «Механічна інженерія» за спеціальністю 136 – «Металургія»

Актуальність теми дисертації.

Робота Ліхацького Івана Федоровича присвячена розробленню та дослідженню литих високоентропійних і середньоентропійних сплавів з підвищеним вмістом алюмінію. Обрана тема є актуальною, оскільки сучасне матеріалознавство потребує нових металевих систем, здатних забезпечувати поєднання зниженої густини, достатньої міцності, корозійної стійкості та технологічності виготовлення.

Робота Ліхацького Івана Федоровича присвячена розробленню та дослідженню литих високоентропійних і середньоентропійних сплавів з підвищеним вмістом алюмінію. Обрана тема є актуальною, оскільки сучасне матеріалознавство потребує нових металевих систем, здатних забезпечувати поєднання зниженої густини, достатньої міцності, корозійної стійкості та технологічності виготовлення.

Підвищення вмісту алюмінію в багатокомпонентних системах є перспективним, але водночас складним напрямом. Алюміній суттєво знижує концентрацію валентних електронів, співвідношення ГЦК- і ОЦК-фаз, сприяє появі впорядкованих В2-структур та інтерметалідів, а також може викликати істотну хімічну неоднорідність литого стану. Через це дослідження особливостей фазоутворення, мікросегрегацій і механізмів структуроутворення в таких сплавах має вагоме наукове значення.

Актуальність дисертації посилюється тим, що автор розглядає саме ливарні способи отримання ВЕС/СЕС. Для практичного застосування багатокомпонентних сплавів важливо не лише підібрати перспективний склад, а й встановити, чи можна

одержати якісний розплав, забезпечити достатню рідкоплинність і сформувати контрольований структурно-фазовий стан у литому виробі.

Робота відповідає сучасним тенденціям розвитку нових матеріалів, зокрема – складноконцентрованих сплавів та є спрямованою на вирішення важливого наукового завдання – встановлення залежностей фазоутворення, ливарних, механічних і корозійних властивостей у системах Al–Si–Cu–Ni–Zn, Al–Cr–Mn–Fe–Co–Ni–Cu та Al–Cr–Mn–Fe–Ni–Cu, залежно від їхнього хімічного складу.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та наукової новизни.

Обґрунтованість результатів роботи забезпечена послідовним та логічним формуванням цілісного наукового завдання, методологією дослідження та комплексом проведених досліджень. Автор поєднав попереднє глибоке прогнозування термодинамічних характеристик і фазового стану експериментальних сплавів за відомими критеріями та провів відповідну експериментальну перевірку. При цьому, було зроблено акценти на зниження температури плавлення деяких композицій задля підвищення їх технологічності в контексті ливарних процесів виробництва. Також було продемонстровано залежності зміни рідкоплинності експериментальних сплавів від їхнього хімічного складу.

Методична база роботи є достатньою для розв’язання поставлених завдань. Використання оптичної мікроскопії, сканувальної електронної мікроскопії з EDS-аналізом, рентгенофазового аналізу, визначення рідкоплинності, механічних і корозійних властивостей дозволило отримати комплексну характеристику досліджуваних сплавів та встановити ряд важливих залежностей.

Суттєвим науковим результатом є встановлення того, що експериментальна система Al–Si–Cu–Ni–Zn навіть за близьких до еквіатомних співвідношень компонентів не формує однофазний твердий розчин, а має складну багатофазну структуру з Al-збагаченою матрицею, інтерметалідами

системи Cu–Zn, кремнієвими та Ni-вмісними інтерметалідними складовими. Це наочно демонструє обмеженість використання тільки ентропійного критерію при розробленні таких матеріалів.

Для систем Al–Cr–Mn–Fe–Co–Ni–Cu та Al–Cr–Mn–Fe–Ni–Cu автор показав, що зміна концентрації алюмінію керує співвідношенням між ГЦК-, ОЦК- та В2-структурними складовими, а однофазного стану можна досягти навіть при вмісті алюмінію 20% ат. Дисертація також містить важливий висновок про роль міді у формуванні мікросегрегацій і про можливість їх зменшення за рахунок зменшення вмісту міді за рахунок введення кобальту.

Окремо слід відзначити дослідження взаємодії твердих ВЕС/СЕС з рідким алюмінієм. Відповідно до цього було тримано результати щодо формування перехідних зон, інтерметалідних шарів на основі $\text{Al}_3(\text{Fe}, \text{Mn})$ та $\text{Al}_3(\text{Fe}, \text{Mn}, \text{Cr})$ і можливості утворення функціональних поверхневих шарів на алюмінієвих сплавах. Таке рішення є оригінальним, пропонує новий спосіб застосування ВЕС та має перспективу подальшого розвитку.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.

Дисертація Ліхацього І.Ф. є актуальною, має логічну структуру і демонструє цілісний та методично вивірений дослідницький підхід до вирішення поставленої наукової задачі.

Зміст дисертаційної роботи повною мірою відповідає вимогам Стандарту вищої освіти за спеціальністю 136 – «Металургія» та напрямам досліджень, визначеним в освітньо-науковій програмі галузі знань 13 – «Механічна інженерія». Робота охоплює актуальні науково-прикладні завдання з розробки та нових високоентропійних сплавів, які мають знижену густину, високу корозійну стійкість і які можливо одержувати ливарними способами.

У вступі сформульовано мету і завдання роботи, визначено об'єкт і предмет дослідження, наведено наукову новизну та практичне значення. П'ять розділів дисертації послідовно розкривають стан проблеми, методичні засади,

технології одержання сплавів, результати дослідження структури, фазового складу і властивостей, а також особливості формування з'єднань з алюмінієм.

Перший розділ містить аналіз літературних даних щодо високоентропійних та складноконцентрованих сплавів. Автор розглядає не лише переваги таких матеріалів, а й проблеми, пов'язані з їх технологічністю, структурною неоднорідністю і складністю прогнозування фазового складу.

У розділах, присвячених експериментальним дослідженням, наведено достатньо інформації для розуміння способів одержання сплавів і подальшої атестації зразків. Зміст роботи свідчить про завершений характер дослідження: від вибору систем і прогнозування фазоутворення до формулювання практичних висновків щодо перспективних напрямів використання.

Аналіз звіту про подібність тексту засвідчує дотримання автором принципів академічної доброчесності. Дисертаційна робота не містить фактів плагіату, компіляції чи фабрикації даних. Усі використані результати інших авторів належним чином задокументовані через коректні бібліографічні посилання. Це свідчить про самостійний характер виконаного дослідження, належний рівень наукової етики та відповідальності здобувача.

Мова та стиль викладення результатів.

Дисертацію написано українською мовою у відповідності до норм наукового стилю. Виклад матеріалу є логічним, послідовним і зрозумілим, з коректним використанням термінології в галузі матеріалознавства та ливарного виробництва. Усі розділи роботи логічно пов'язані між собою та відображають етапи реалізації поставлених завдань.

Дисертаційна робота структурована відповідно до вимог чинного нормативного документу – наказу МОН України від 12.01.2017 № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертацій». Загальний обсяг становить 174 сторінки та включає вступ, п'ять розділів, висновки, список використаних джерел і додаток. Структура і зміст роботи свідчать про належний рівень академічних принципів викладення інформації та відповідність формальним вимогам до дисертаційної роботи.

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.

Результати дисертації достатньо повно оприлюднені у наукових публікаціях. За темою роботи опубліковано 5 статей у фахових виданнях, одна з яких індексується у Scopus та Web of Science Core Collection, а також 4 матеріали конференцій. Тематика публікацій відповідає основним розділам дисертації і відображає як оглядові, так і експериментальні результати.

Апробація матеріалів виконана на чотирьох наукових конференціях 2023–2026 років. Це свідчить про належне представлення результатів у професійному середовищі та можливість їх обговорення фахівцями.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1. У роботі варто було б детальніше порівняти результати рентгенофазового аналізу з локальним EDS-аналізом для багатофазних областей, особливо у сплавах із вираженою хімічною неоднорідністю.

2. Для сплавів з B2-впорядкованою фазою доцільно було б ширше обговорити питання факторів їх виникнення та можливого впливу швидкості охолодження на ступінь упорядкованості.

3. Оскільки в роботі відзначено низьку пластичність більшої частини зразків, бажано було б доповнити роботу фрактографічними дослідженнями поверхонь руйнування та ширше описати причини виникнення крихкості.

4. У розділі про взаємодію ВЕС і СЕС з алюмінієм доцільно було б навести більше кількісних даних щодо товщини перехідних зон для різних режимів контакту і провести експерименти, які б дали можливість сформулювати більш розгорнуті залежності представлених взаємодій.

5. Деякі наведені мікроструктури могли б містити розширені пояснення щодо ідентифікації фазових складових, що полегшило б сприйняття результатів.

6. У тексті трапляються окремі мовні і термінологічні неточності, а також маловідомі терміни, як, наприклад – «складноконцентровані сплави».

Зазначені зауваження не мають принципового характеру і не ставлять під сумнів достовірність основних наукових положень. Дисертація є самостійною

завершеною працею, у якій отримано нові наукові результати щодо фазоутворення, структурної неоднорідності, ливарних, механічних і корозійних властивостей Al-вмісних високоентропійних та середньоентропійних сплавів.

Висновок про дисертаційну роботу.

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Ліхацького Івана Федоровича на тему «Розроблення ливарних високоентропійних сплавів з підвищеним вмістом алюмінію і технологій їх одержання» є завершеним самостійним науковим дослідженням, виконаним на високому науковому рівні. Робота не містить порушень принципів академічної доброчесності, а її теоретичні положення та практичні результати становлять вагомий внесок у розвиток ливарних технологій та матеріалознавства в межах галузі знань 13 – «Механічна інженерія».

За актуальністю, науковою новизною, ступенем обґрунтованості отриманих результатів та їх практичною значущістю дисертаційна робота повністю відповідає вимогам, визначеним пунктами 6–9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради...», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

З урахуванням викладеного, вважаю, що Ліхацький Іван Федорович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 13 – «Механічна інженерія» за спеціальністю 136 – «Металургія».

Рецензент:

Провідний науковий співробітник
відділу спеціальних сталей та сплавів
Фізико-технологічного інституту металів та
сплавів НАН України
д.т.н., професор



Євгеній АФТАНДІЛЯНЦ

Підпис д.т.н. Афтанділянца Є.Г. засвідчую:

Вчений секретар
ФТІМС НАН України



Володимир ЛАХНЕНКО

«06» липень 2026 року