

## РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу

**Ліхацького Річарда Федоровича**

на тему «Одержання жароміцних сплавів систем Cu-V та Cu-Cr-Zr-V

в умовах електронно-променевої ливарної технології»,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань 13 – «Механічна інженерія»

за спеціальністю 136 – «Металургія»

### **Актуальність теми дисертації.**

Електротехнічні матеріали займають важливе, хоча і не надто популярне місце в сучасних наукових дослідженнях. Це пов'язано головним чином з відсутністю конкурентних технологічних рішень, здатних забезпечувати як високий практичний результат, так і економічну доцільність. Існуючі новітні електротехнічні сплави на основі міді, які мають підвищений рівень експлуатаційних характеристик, одержуються переважно дорогавартісними та складними способами. Тому в сучасних реаліях в Україні такі розробки проводяться в напрямках пошуку альтернативних технологічних рішень та створення нових сплавів.

З аналізу різноманітних джерел відомо, що неабияка увага енергетичного сектору промисловості приділяється жароміцним мідним сплавам з високою електропровідністю. Особливо затребуваними такі матеріали є в галузі електротранспорту і високострумових електротехнічних приладів. Відповідно, найбільш придатними для роботи в екстремальних умовах кондуктивними матеріалами є мідні сплави і композити, які містять тугоплавкі та високореакційні метали або нерозчинні дрібнодисперсні частинки. Виробництво таких матеріалів у переважній більшості випадків передбачає застосування методів порошкової металургії, інтенсивної пластичної деформації, гострокутового пресування та інших дорогавартісних технологічних рішень.

Найбільш вигідний та доцільний альтернативний спосіб одержання жароміцних мідних сплавів і композитів може бути розроблений на основі ливарних процесів. Варто відзначити, що пристосування існуючих промислових способів для вирішення такої задачі не виглядає можливим, проте запропонований дисертантом спосіб електронно-променевої виплавки виявився в цьому плані досить ефективним та має подальші перспективи для розвитку.

В умовах електронно-променевої ливарної технології можливо забезпечити декілька важливих переваг: контрольоване плавлення різних компонентів шихти як окремо, так і разом; рафінування розплаву за рахунок

вакууму та концентрованого енергетичного впливу електронного променя, що дає змогу використовувати переважно вторинну сировину в якості шихти; забезпечувати рівномірний перегрів розплаву та розчинення тугоплавких компонентів за рахунок електромагнітного перемішування. В існуючій установці за одну плавку можливо одержати до 40 кг розплаву міді, яка може містити достатню кількість необхідних легуючих компонентів – ванадію, цирконію, хрому та, за необхідності – інших. При порівнянні економічної доцільності виробництва таких сплавів існуючими способами з розробленим, останній має перевагу.

Оскільки розробка вказаних новітніх технологічних рішень одержання мідних жароміцних сплавів є перспективною та водночас новою задачею – вона вимагає досліджень як самого процесу і його основних факторів, так і дослідження одержаних сплавів та їх властивостей.

### **Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.**

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. Вперше в умовах електронно-променевої ливарної технології було одержано виливки сплавів системи Cu-V з вмістом ванадію до 2 % мас. включно. Показано, що за певних умов вдається досягти рівномірного розподілу великої кількості частинок ванадію розміром 1-3 мкм в мідній матриці, що є важливим досягненням для забезпечення високого рівня жароміцності матеріалу. Визначено, що оптимальними концентраціями ванадію можна вважати значення близько 0,1-0,3 % мас., які попадають в межі перитектичного перетворення. Такі сплави мають високі кондуктивні, механічні властивості та жароміцність, які на рівні зі структурою можуть бути збережені після індукційного переплаву, який було використано для оцінки можливостей вторинної переробки сплавів Cu-V.

2. Розширено уявлення про фактори впливу на процеси кристалізації та структуроутворення в литих композитах системи Cu-V, які засновуючись на математичному моделюванні та експериментальному підтвердженні показують, що процеси кристалізації та переміщення теплових полів в міді після заливки у форму більшою мірою впливають на утворення, переміщення та розподіл частинок ванадію, ніж гідродинамічні фактори та формування конвективних потоків розплаву всередині форми. Така відмінність від схожих систем монотектичного типу, полягає у меншій густині ванадію та більшій схильності до зворотної седиментації, що ставить на перше місце задачу пригнічення спливання ванадієвих часток після їх утворенні в розплаві. Описані задачі розглянуто за умов різних рівнів перегріву розплаву.



3. Вперше встановлено, що додавання до 0,1 %мас. ванадію дозволяє в рази знизити кількість хрому та цирконію в жароміцних бронзах без втрати міцності. Це було доведено порівнянням властивостей відомого жароміцного сплаву Cu-0,4Cr-0,1Zr та експериментального сплаву Cu-0,03Cr-0,05Zr-0,07V електронно-променевої виплавки, міцність та жароміцність (при 500°C) яких знаходяться на рівні 245 та 135 МПа відповідно. Можна вважати, що ванадій здатен не лише зміцнювати мідь та її сплави, але і виконувати функцію регулятора хімічного складу сплавів через вплив на фазоутворення при реакції з іншими легуючими елементами.

4. Вперше визначено, що ванадій здатен зменшувати концентрацію цирконію на межах зерен міді, зв'язуючись з ним та розташовуючись всередині зерен у вигляді сферичних дисперсних інтерметалідних включень  $V_2Zr$ . Це призводить до зниження сумарного впливу на зниження електропровідності мідного сплаву через наявність цирконію та ванадію. Враховуючи, що додавання ванадію може також знижувати загальну кількість легуючих елементів, електропровідність одержаних сплавів є вищою за значення відомих аналогів на величину близько 5%.

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

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Ліхацького Р. Ф. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 136 – «Металургія» та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми «Металургія».

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям електронно-променевої ливарної технології та створення в її умовах нових литих композиційних матеріалів та жароміцних електротехнічних сплавів на основі міді..

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Ліхацького Річарда Федоровича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

#### **Мова та стиль викладення результатів.**

Дисертаційна робота написана українською мовою з послідовним описанням експериментів та логічним викладенням результатів досліджень із використанням загальноприйнятої наукової термінології.

Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації 159 сторінок.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

#### **Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.**

Наукові результати дисертації висвітлені у 5 наукових публікаціях здобувача, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України.

Також результати дисертації були апробовані на 8 наукових фахових конференціях.

Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

#### **Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.**

1. В роботі описано технологічний процес одержання експериментальних сплавів системи Cu-V в умовах електронно-променевої технології та одержано виливки різних розмірів та простої конфігурації, але не досліджено ливарні властивості матеріалів.

2. В роботі велика увага приділена дослідженню структурно-фазових характеристик сплавів, проте можливо варто було б навести кількісні залежності їх впливу на механічні та експлуатаційні характеристики.

3. Деякі зразки експериментальних сплавів піддавали деформаційній та термічній обробці. З якою метою це робилось і який результат було одержано?

4. Як можна коротко і змістовно сформулювати основні висновки стосовно найбільш ефективного механізму підвищення жароміцності сплавів після дослідження структури зруйнованих зразків, які проходили високотемпературне випробування на розтяг?

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

#### **Висновок про дисертаційну роботу.**

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Ліхачького Річарда Федоровича на тему «Одержання жароміцних сплавів систем Cu-V та Cu-Cr-Zr-V в умовах електронно-променевої ливарної технології» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі знань 13 – «Механічна інженерія» Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю



відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.6 – 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувач Ліхацький Річард Федорович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 13 – «Механічна інженерія» за спеціальністю 136 – «Металургія».

**Рецензент:**

Завідувач відділу магнітної гідродинаміки  
Фізико-технологічного інституту  
металів та сплавів НАН України  
доктор технічних наук, професор

Олексій СМІРНОВ

**Підпис д. т. н. Смірнова О. М. засвідчую:**

Вчений секретар  
ФТІМС НАН України, к. т. н.

Володимир ЛАХНЕНКО



« 12 » лютого 2024 року