

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
ПАРЕНЮКА Олександра Анатолійовича
на тему «**ОДЕРЖАННЯ СПЕЦІАЛЬНИХ МІДНИХ СПЛАВІВ,
ЗМІЦНЕНИХ УЛЬТРАДИСПЕРСНИМИ ВКРАПЛЕННЯМИ НА
ОСНОВІ FeCrC, СФОРМОВАНИМИ В РОЗПЛАВІ ПІД ДІЄЮ
ЗМІННОГО ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ**»,

представленої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.16.02 – Металургія чорних і кольорових металів та спеціальних сплавів

Актуальність теми дисертації і відповідність паспорту спеціальності 05.16.02 – Металургія чорних і кольорових металів та спеціальних сплавів.

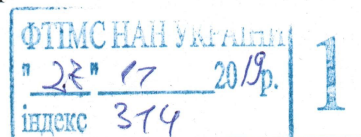
Головне завдання виробників металопродукції – отримання матеріалу, службові показники, якого забезпечують надійність і довговічність експлуатації виготовлених з нього виробів. Довгий час основним методом досягнення певних властивостей металів було легування основи різними елементами.

Однак легування і подальша термічна обробка мають межі своїх можливостей і не завжди можуть забезпечити бажану якість і характеристики матеріалів. У той же час бурхливий розвиток провідних галузей промисловості, як-то машинобудування, авіа- та ракетобудування, атомна енергетика, транспорт ставить перед матеріалознавчою наукою завдання створення нових металевих матеріалів зі специфічними властивостями, необхідними для виробів певного призначення. А завдання металургів полягає в отриманні таких матеріалів.

Добре відомо, що досягнення рівня і поєднання властивостей, не притаманних однокомпонентному металу, можуть забезпечити композити. Це клас нових матеріалів, у складі яких два, три, а іноді і більше компонентів, властивості яких істотно відрізняються від властивостей будь-якого з їх складників. Композиційні матеріали знаходять все більше застосування в різних галузях промисловості. Найяскравіший приклад – дисперсно-твердіючі сталі і мідні сплави, де основа зміцнюється інтерметалідними, нітридними, карбідними, боридними чи іншими фазами, що виділяються за певних умов.

Варіювання кількості, розмірів і орієнтації окремих фаз, що входять до складу матриці відкриває можливість отримувати широкий спектр матеріалів з необхідним набором властивостей. Можна з упевненістю сказати, що за композиційними матеріалами – металевими, неметалевими або в поєднанні метал-неметал велике майбутнє і величезні перспективи.

Роботи в цьому напрямі, тобто у виявленні особливостей і закономірностей формування різних композитів, методів отримання, дослідження властивостей і визначення областей їх застосування, конче необхідні для забезпечення все зростаючих вимог до конструкційних матеріалів.



Наприклад, мідні сплави, які використовуються у ковзних контактах українського залізничного електротранспорту та повинні забезпечувати надійний струмоз'єм, зокрема, при підвищених температурах, мають володіти одночасно високими показниками спеціальних властивостей таких, як електро- і теплопровідності, стійкості до зносу, електроерозії, не відповідають сучасним вимогам. Забезпечити поєднання рівня властивостей, що іноді суперечать один одному можуть тільки композити.

Тому дисертаційна робота Паренюка О.А. направлена на розвиток теорії і технології одержання спеціальних композиційних мідних сплавів та поліпшення і збалансування комплексу властивостей таких матеріалів є актуальною та своєчасною для сучасного стану промислового комплексу України.

Актуальність та важливість дисертаційної роботи підтверджує факт, що вона була виконана згідно з цільовою комплексною програмою наукових досліджень НАН України «Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин» («Ресурс») (постанова Президії НАН України №247 від 12.12.2012 р.) в рамках теми П-02.13.640 «Розробка МГД-технології одержання дисперснозміцнених матеріалів на основі міді для струмоз'ємних деталей залізничного транспорту» (виконувалась згідно державного контракту №Р7.6-2013 «Ресурс», № ДР 0113U002628 (розпорядження Президії НАН України №168 від 14.03.2013 р.)), в якій здобувач брав безпосередню участь.

Дисертаційна робота Паренюка О.А. повною мірою відповідає паспорту спеціальності 05.16.02 – Металургія чорних і кольорових металів та спеціальних сплавів.

Ступінь обґрунтованості, повнота і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій.

Аналіз змісту дисертації та її автореферату показав, що наукові положення, висновки і рекомендації викладені в роботі, цілком обґрунтовані, зроблені на підставі глибокого вивчення та аналізу автором сучасних літературно-патентних джерел, результатів власних теоретичних і практичних досліджень і розрахунків.

У роботі використані теоретичні та експериментальні методи досліджень, які базуються на основних положеннях теорії металургійних, тепло- і масообмінних та магнітогідродинамічних процесів в металевих розплавах, що мають область незмішування. Поставлені в роботі задачі вирішені на основі теоретичного аналізу, фізичного моделювання та експериментів на натурних об'єктах. При проведенні експериментальних досліджень в лабораторних і промислових умовах використано, як оригінальне лабораторне, так і стандартне обладнання. Для системного аналізу параметрів обробки застосовували прилади для контролю теплофізичних, механічних, електричних, електромагнітних показників. Металографічний аналіз отриманих металевих зразків виконано за допомогою

оптичної мікроскопії. Обробку експериментальних даних здійснено з використанням стандартних пакетів прикладних комп'ютерних програм.

Загальна характеристика змісту дисертації.

У першому розділі на підставі розгляду сучасних науково-технічних джерел за темою дисертації проаналізовано умови використання спеціальних мідних сплавів та показано, які вимоги пред'являються до них. Також представлено основні класи матеріалів, що використовуються і вказано їх недоліки, які не дозволяють забезпечити виконання поставлених вимог у повній мірі. Доведено перспективність використання сплавів з областю незмішування при умові формування однорідної структури з ультрадисперсними розмірами зміцнюючої фази. У контексті аналізу сучасних технологій отримання металевих композиційних матеріалів, показано принципову можливість та перспективність використання впливу електромагнітного поля (ЕМП) на процес формування металічних мікроемульсій. У підсумку логічно та обґрунтовано визначено завдання дослідження.

У другому розділі докладно охарактеризовані методики і обладнання використані під час теоретичних та експериментальних досліджень на модельному сплаві Bi-Zn та натурному сплаві Cu-FeCrC . Автор обґрунтовано навів основні формули і залежності, що дало змогу провести йому якісний та достатньо змістовний теоретичний аналіз.

У третьому розділі проаналізовано основні електромагнітні властивості міді і легуючого комплексу FeCrC : електроопір та магнітну проникність залежно від температури та особливостей розподілу електромагнітного поля і електромагнітної сили в індукційній тигельній печі (ІТП), а також щільність, оскільки ці характеристики безпосередньо впливають на ефективність процесу виплавки мідного сплаву в ІТП.

В роботі показано вплив дифузійних процесів на досягнення рівноважного стану у металевому розплаві. На базі чого дисертант встановив шлях до вирішення однієї із ключових проблем – інтенсифікації процесу сплавлення компонентів за рахунок формування зони локальної концентрації впливу електромагнітного поля розміщення та утримання добавки в цій зоні, за допомогою чого можливе диспергування добавки до мікронних розмірів на початковому етапі сплавлення.

З використанням оригінального аналізу, на базі відомих залежностей, автор визначив рівень електромагнітної сили ($F_e > 1 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^3$), що має забезпечуватись у активній зоні впливу електромагнітного поля в індукційній тигельній печі для суттєвого прискорення масообміну між компонентами сплаву монотектичної системи Cu-FeCrC .

Важливим результатом отриманим автором є встановлення провідних чинників, що підвищують стабільність мікроемульсованого або мікросуспен-

зійного станів рідких металевих сплавів при впливі змінного електромагнітного поля в індукторі ІТП за рахунок зниження градієнта ЕМП і зменшення розмірів зміцнюючої фази.

У четвертому розділі наведені результати численних лабораторних досліджень на модельному сплаві Bi-Zn спрямованих на встановлення впливу руху розплаву на початковому етапі плавки, швидкості охолодження та концентрації зміцнюючої фази на дисперсність та однорідність розподілу включень. На підставі результатів проведених експериментів дисертантом встановлені важливі технологічні особливості процесу. Зокрема, необхідність забезпечення високих швидкостей охолодження для отримання ультрадисперсних включень і збереження їх розмірів та кількості у твердому стані. Показано тенденцію зменшення розмірів включень дисперсної фази при зниженні її концентрації.

У п'ятому розділі на основі приведених результатів плавок натурального сплаву в ІТП, автором розроблені достатньо обґрунтовані технологічні рекомендації. Варто відмітити, що дисертантом встановлено важливу особливість виплавки сплаву на мідній основі, а саме необхідність забезпечення диспергування високов'язкої складової добавки на початковому етапі проведення процесу плавки для запобігання її компактування. Отримані автором результати дозволили розробити оригінальний спосіб створення локальної концентрації та підвищення теплосилового впливу електромагнітного поля в зоні розчинення добавки. Ця зона була створена шляхом застосування графітового диску розміщеного на поверхні розплаву. Визначено, що введення добавки у зазор між диском та тиглем за рахунок концентрованого впливу електромагнітного поля на міжфазній поверхні мідного розплаву і добавки призводить до її руйнування та диспергування, вимивання високов'язкої фази, внаслідок виникнення магнітогідродинамічних мікротечій того ж масштабу, що і дисперговані частки та їх розосередженню у всьому об'ємі розплаву за рахунок гідродинамічних потоків ініційованих електромагнітними силами.

Варто відмітити, що дисертант спеціально виділив етапи, що характерні для процесу виплавки сплаву Cu-FeCrC та обґрунтовано запропонував ступінчасті режими електромагнітної дії, що є свідченням раціонального підходу, оскільки на різних етапах процесу виплавки доцільно забезпечення різного електромагнітного впливу, що доведено у роботі.

Для можливості масштабування отриманих під час розробки технології результатів для обробки різних об'ємів металу автором приведені питомі показники основних технологічних та конструкційних параметрів.

Запропоновані автором рішення та рекомендації дали змогу зниження витрат електроенергії на 3 кВт·год/кг при виплавці спеціального сплаву на мідній основі під час дослідно-промислового впровадження.

Слід відмітити, що дисертаційна робота побудована логічно і злагоджено. На самому початку виконано теоретичний аналіз впливу змінного електромаг-

нітного поля на процес формування монотектичного сплаву з ультрадисперсними включеннями. Потім проведені дослідження і експерименти на фізичній моделі зі сплавами, що мають область незмішування в рідкому стані, для виявлення особливостей і закономірностей формування і розподілу зміцнюючої фази в основному розплаві. І в підсумку, ґрунтуючись на отриманих результатах, розроблена технологія виплавки і одержання мідних сплавів спеціального призначення з дослідженням їх властивостей.

Наукова новизна отриманих результатів.

До найбільш суттєвих результатів дисертації Паренюка О. А. з наукової точки зору, слід віднести те що розвинуто уявлення про процес сплавлення міді та тугоплавкої добавки на основі заліза, у складі якої є евтектична фаза, з істотно вищою в'язкістю ніж у основи сплаву в умовах використання індукційної тигельної печі. Встановлено необхідність переведення в рідкий стан легкоплавкої високов'язкої складової добавки і її розосередження на початковому етапі сплавлення, що досягається шляхом взаємодії твердої лігатури FeCrC з рідкою міддю у температурному інтервалі між ліквідусом і солідусом добавки, при цьому за рахунок МГД мікротечій диспергуються, як легкоплавка, так і тугоплавка фази лігатури. З'ясовано, що пришвидшення масообміну у розплаві відбувається при досягненні значення об'ємних електромагнітних сил більше $1 \cdot 10^5$ Н/м³. Визначено, необхідність корегування рівня МГД впливу у процесі виплавки монотектичного сплаву Cu з 4% мас FeCrC шляхом варіювання дії змінного електромагнітного поля по ходу плавки. А саме, диспергування добавки при питомій потужності поля 0,40-0,45 кВт/кг, переведення розплаву в мікроемульсований стан при питомій потужності 0,8-1,0 кВт/кг. Встановлено, що структура з розміром включень зміцнюючої фази ≤ 1 мкм та щільністю їх розподілу $1 \cdot 10^5$ мм⁻² фіксується шляхом зниження теплосилового впливу електромагнітного поля до 0,15-0,20 кВт/кг (таким чином розплав охолоджується від температур зони мікроемульсійного стану до температури монотектики) та подальшою розливкою ламінарним потоком при охолодженні зі швидкістю ~ 1000 К/с. Визначено, що за рахунок застосування розроблених режимів електромагнітного впливу при виплавці сплаву Cu з вмістом FeCrC до 1% мас., при швидкості охолодження ~ 100 К/с, фіксується розмір включень зміцнюючої фази < 1 мкм, а при зниженні концентрації лігатури до 0,7% мас. розмір вкраплень знижується до ультрадисперсного діапазону ($\leq 0,5$ мкм).

Практичне значення отриманих результатів.

Вагомість та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, які отримані в дисертаційній роботі, підтверджується їх практичним значенням та актуальністю імпортозаміщення високотехнологічних матеріалів, що закуповуються Україною за валюту.

Розроблену нову технологію виплавки спеціального мідного сплаву зміцненого вкрапленнями на основі FeCrC, що формуються ендогенно з використанням дії змінного електромагнітного поля впроваджено у виробництво ТОВ «Інтер-Контакт-Пріор» (м. Київ). Результати промислового впровадження підтвердженні актами.

Одержаний в промисловій індукційній тигельній печі типу ICT 0,16 мідний сплав з вкрапленнями на основі FeCrC розміром ≤ 1 мкм та щільністю їх рівномірного розподілу $> 1 \cdot 10^5$ мм⁻², було використано для виготовлення струмоз'ємних вставок для залізничного електротранспорту постійного струму.

Дослідні струмоз'ємні вставки, мають більш ефективно збалансований комплекс властивостей порівняно з характеристиками контактного дроту серед матеріалів інших виробників, що використовує АТ «Укрзалізниця» (так відношення питомих електропровідностей вставки і контактного дроту складає 0,9, а співвідношення твердості робочого шару вставки і контактного дроту 0,8).

Завдяки поліпшенню умов сухого тертя, прогнозується зниження зносу контактного дроту, зменшення кількості випадків його перегріву та руйнування, заощадження електроенергії за рахунок зменшення питомого електроопору струмоз'ємних вставок та в підсумку збільшення ресурсу пробігу дослідних вставок на електровозах постійного струму порівняно з серійними вставками: типу ПКД на 25%, з пантографної міді ≥ 5 разів, імпортованих МГ-487 у 2,5 рази.

Досягненням дисертанта є розробка нової технології, що дозволяє знизити витрати електроенергії при виплавці дисперснозміцненого сплаву Cu-FeCrC на 3 кВт·год/кг. Також розроблена технологія має перспективи використання для виготовлення струмопровідних контактних дротів, що підтверджується зацікавленістю закордонних партнерів (D.MAG New Material Technology Ltd. (Kunshan, PRC)) та підписанням рамкової угоди про співробітництво з НАНУ ФТІМС.

Розроблений автором спосіб виплавки із застосуванням графітового диску може використовуватись для плавки металів та сплавів електричні властивості, яких не дозволяють досягти безпосереднього тепловиділення на рівні необхідному для плавлення у ІТП без графітового тиглю. Оскільки виготовлення графітового нагрівача у формі диску простіше з технологічної точки зору і дешевше порівняно з традиційним графітовим тиглем, спосіб знайде застосування у ливарному виробництві, мікрOMETALURGIЇ, ювелірній і зубопротезній промисловості.

Повнота викладення основних результатів дисертаційної роботи в наукових публікаціях.

Одержані дисертантом при виконанні роботи результати було надруковано у 21 праці, серед яких п'ять статей в науково-фахових журналах, з переліку

рекомендованого МОН України, одна публікація у виданні, що індексується міжнародними наукометричними базами даних, зокрема «Scopus», одна праця у збірнику наукових статей, тринадцяти тезах доповідей конференцій (як українських, так і міжнародних) та одному патенті України на корисну модель. В цілому така кількість публікацій є більш ніж достатньою для кандидатської дисертації, а їх аналіз показав, що головні результати дисертації добре представлені у науковій пресі. Автореферат за своїм змістом, наведеними положеннями наукової новизни, технологічними рекомендаціями та висновками ідентичний дисертації.

Основні зауваження до дисертації.

1. Недостатньо обґрунтовано і аргументовано вибір саме добавки FeCrC, в якості зміцнюючої фази, крім того, що вона має порівняно невисоку температуру плавлення, недорога і згадується в літературі як лігатура для мідних сплавів. В роботі відсутні дані про те як і ким ця лігатура виробляється.

2. На ст. 32 дисертації приводиться така фраза «Формування емульсії полегшується коли зв'язки Me-C уже сформовані, а вуглець знаходиться в активному металічному стані». Чи це насправді так в роботі необґрунтовано на достатньому рівні.

3. У розділі 1 на ст. 47 наведено рисунок 1.5 відомий з літератури, який дисертант охарактеризував поверхово, бажано було дати більш докладні пояснення.

4. Стосовно розділу 2, вважаю, що у методичній частині доцільно було використати метод математичного планування.

5. На мій погляд при виконанні фізичного моделювання дисертанту було б варто розширити досліджуваний діапазон вмісту фази, що диспергується, особливо в зоні низьких його значень, а отримані результати співставити з даними експериментів на сплаві Cu-FeCrC.

6. У розділі 5 не достатньо розкрито розрахунок економічного ефекту від використання розробленої технології.

7. Варто зауважити, що на стор. 53 у формулі 2.2 не наведені розмірності величин, також у деяких формулах розшифровано не всі складові позначення, так у формулі 2.3 не розшифровано позначення « L » і « a », на стор 55 не наведено, що означає позначення « a ».

8. На стор. 91 рис. 5.1 г має підпис «зразок шириною 300 мкм, отриманий на графітовій поверхні», але судячи з тексту поверхня була сталева.

9. Більшість із 12 сформульованих загальних висновків по роботі дуже громіздкі. Над ними слід було попрацювати більш ретельно, як з точки зору їх кількості, так і лаконічності.

10. У дисертації присутня низка пунктуаційних, орфографічних помилок, зокрема, ст. 32 рядок 16 зайве слово «що», ст. 48 рядок 8 продубльовано слово

«добавка», ст. 77 у четвертому рядку слова «залежність» і «величини» написані без пробілу.

Наведені зауваження не знижують в цілому наукової і практичної цінності роботи, не ставлять під сумнів новизну та достовірність матеріалів дисертації.

Висновки щодо відповідності дисертації вимогам Міністерства освіти та науки України.

Дисертація Паренюка Олександра Анатолійовича за темою «Одержання спеціальних мідних сплавів, зміцнених ультрадисперсними вкрапленнями на основі FeCrC, сформованими в розплаві під дією змінного електромагнітного поля» є завершеною науковою працею, що містить результати власних досліджень автора, характеризується новими науково обґрунтованими даними, що сприяють вирішенню актуального завдання із розробки нової конкурентоспроможної технології одержання спеціальних сплавів Cu-FeCrC.

Вважаю, що дисертаційна робота за своєю вагомістю, новизною наукових результатів, їх практичним значенням, кількістю та обсягом публікацій відповідає вимогам п.п. 9; 11; 12 «Порядку присудження наукових ступенів» затвердженого постановою № 567 Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. з чинними змінами (№ 656 від 19.08.2015, № 1159 від 30.12.2015, № 567 від 27.07.2016), а її автор – Паренюк Олександр Анатолійович заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.16.02 – Металургія чорних і кольорових металів та спеціальних сплавів.

Офіційний опонент
доктор технічних наук,
старший науковий співробітник,
провідний науковий співробітник
Інституту електрозварювання
ім. Є. О. Патона НАН України


Ф. К. Біктагіров

Підпис Біктагірова Ф. К. засвідчую:
Учений секретар Інституту електрозварювання
ім. Є. О. Патона НАН України,
кандидат технічних наук


І. М. Клочков

