

ВІДГУК

офіційного опонента

на дисертаційну роботу **Полішко Ганни Олексіївни**

«Наукові основи електрошлакового процесу з рідким металом

для одержання суцільних і композитних злитків»,

що представлена на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук

за спеціальністю 05.16.02 «Металургія чорних і кольорових металів

та спеціальних сплавів»

1. Актуальність роботи

Дисертаційна робота Полішко Г.О. присвячена розробці наукових основ, теоретичному та експериментальному обґрунтуванню технології електрошлакового переплаву з використанням струменя рідкого металу для отримання злитків суцільного перерізу та композитного хімічного складу з теплостійких та високоміцних сталей.

Як відомо, незважаючи на те, що широко розповсюджені процеси електрошлакового переплаву з витратним електродом залишаються провідними при отриманні злитків з високолегованих сталей і сплавів (високоміцних, теплостійких і суперсплавів), вони мають ряд окремих недоліків. До останніх, у першу чергу, слід віднести проблеми, що пов'язані з виготовленням електродів (особливо зі складнолегованих і важко деформованих сплавів); існуванням нижньої межі швидкості плавлення електрода, яка впливає на якість поверхні отриманого злитка; високим перегрівом електродного металу і, відповідно, протяжною двофазною зоною, яка є однією з причин ліквідації, недостатньо висока продуктивність при значних витратах електроенергії та т. ін.

Необхідно відмітити, що завдяки рафінуванню складу (видалення домішок) і отриманню раціональної структури (підвищення щільності, пригнічення ліквідації, усунення пористості і таке інше) при ЕШП формуються високоякісні гомогенні злитки.

Процес електрошлакового переплаву з рідким металом (ЕШП РМ), що реалізовано в промисловості для наплавлення валків, який був запропонований академіком Б.І. Медоваром, відкрив можливості для формування злитка без використання витратного електрода.

В той же час, на сьогодні відсутні відомості щодо фізико-хімічних та масообмінних процесів, які відбуваються на межі контакту шлак – метал і при проходженні струменю та крапель рідкого металу крізь шар шлакової ванни. Питання впливу технологічних параметрів ЕШП РМ (перегріву та швидкості подачі рідкого металу крізь шлак) на формування суцільних і пошарово-композитних злитків (з зоною з'єднання шарів відмінного хімічного складу), особливості формування їх структури при твердінні також потребують теоретичного обґрунтування та експериментальної перевірки.

Тому робота, яка спрямована на розробку наукових основ, теоретичне обґрунтування та експериментальне випробування технологічних режимів електрошлакового процесу з рідким металом, дослідження процесів формування макро- та мікроструктури литого та деформованого металу для одержання суцільних та композитних злитків є актуальною, а одержані наукові і практичні результати дозволяють відкрити перспективу поширення та впровадження такої технології й

обладнання для її реалізації у промисловості.

В цілому, дисертаційна робота Полішко Г.О. є актуальною і своєчасною, оскільки спрямована на розробку наукових основ електрошлакового процесу з рідким металом, визначення умов та напрямків реалізації у промисловості технології формування злитка без витратного електрода.

Зміст роботи відповідає пріоритетному напрямку науки і техніки України «Новітні технології та ресурсозберігаючі технології в енергетиці, промисловості та агропромисловому комплексі». Виконання роботи пов'язане з планами науково-дослідних робіт Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, сучасним напрямкам та планам науково-дослідних робіт Міністерства освіти і науки України.

В основу дисертації покладені результати наукових досліджень, що увійшли до звітів з науково-дослідних робіт: «Розробка нового технологічного процесу одержання гетерогенних матеріалів на базі ЕШП для виробництва композитних роторів для енергетичних турбін нового покоління» (2009–2011 рр.); «Розробка на базі ЕШП нового технологічного процесу отримання великовагових литих порожнистих заготовок для корпусів енергетичних і нафтохімічних реакторів замість ковано-зварних та штампозварних» (2009–2011 рр.); «Дослідження електрошлакового процесу виплавки суцільних та порожнистих злитків із теплостійких сталей і сплавів на супернадкритичні параметри (700...750°C)» (2012–2014 рр.); «Створення нового покоління флюсів для сучасних електрошлакових технологій виробництва конструкційних матеріалів» (2012–2016 рр.); «Дослідження карбідної неоднорідності високовуглецевих сталей при ЕШП на високих швидкостях розливки з наперед заданими властивостями» (2015 р.); «Розробка технології електрошлакового переплаву (ЕШП) для виробництва сучасних залізничних рейок підвищеної зварюваності» (2015–2017 рр.); «Вплив ЕШП на якість заевтектоїдних рейкових сталей та вишукування можливостей застосування їх без термічної обробки» (2015–2016 рр.); «Розробка наукового обґрунтування та створення на основі методів спеціальної електрометалургії та композитних електродів наскрізної технології виробництва сучасних високоміцних сталей для зварних конструкцій» (2017–2021 рр.); «Розробка електрошлакових технологій керування кристалізацією аустенітних жароміцних сталей і сплавів» (2018–2020 рр.) у виконанні яких авторка дисертації приймала безпосередню участь.

2. Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій

Основні наукові положення дисертації, висновки та рекомендації у достатньому ступені обґрунтовані та відповідають об'єктивній дійсності. Вони базуються на результатах досліджень і розробок вітчизняних та зарубіжних фахівців, базових положеннях теорії металургійних процесів та закономірностях електрошлакового переплаву.

Для вирішення поставлених завдань в роботі використані комплексні сучасні аналітичні, розрахункові та експериментальні методи досліджень металургійних процесів, стандартні методики металографічних досліджень макро- і мікроструктури металу, стандартні методи механічних випробувань металу, професійні пакети математичного моделювання та моделі власної розробки, термодинамічні розрахунки

рівноважного стану систем з застосуванням пакету HSC Chemistry.

Розроблені наукові положення і технічні рішення експериментально перевірені та підтверджені, розроблені авторкою дисертації рекомендації щодо удосконалення технології виплавки електрошлакового металу (керування швидкістю процесу з метою підвищення рівня якості та стабільності комплексу властивостей теплостійких та високоміцних сталей) передані ПрАТ «Дніпроспецсталь» для використання у виробничому процесі в ЕСПЦ №5.

Достовірність результатів дослідження підтверджується збіжністю теоретичних передумов і отриманих експериментальних даних.

3. Наукова новизна отриманих результатів

До найбільш суттєвих наукових результатів, отриманих здобувачкою, можна віднести наступні:

1. Уперше теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено положення, що при ЕШП з витратним електродом утворена плівка на торці останнього не є вирішальною для рафінування рідкого металу від сірки. Твердження засновано на результатах аналізу отриманих експериментальних даних, згідно з якими за відсутності витратного електрода при ЕШП РМ досягається ступінь видалення сірки аналогічний за величиною при класичному ЕШП. Це може бути одним з доказів повноти взаємодії струменю та крапель рідкого металу зі шлаком та асиміляції неметалевих включень на межі шлак-метал.

2. Уперше на основі порівняння умов протікання фізико-хімічних і масообмінних процесів у системі шлак-метал при ЕШП з витратним електродом і ЕШП з рідким металом встановлено, що незважаючи на те, що приведена до часу площа поверхонь реагування при ЕШП РМ є вдвічі меншою ніж при ЕШП, температура металу, що подається до кристалізатора є на 70-90 К нижчою, ступінь рафінування металу не знижується, а продуктивність процесу ЕШП РМ порівняно з ЕШП може бути збільшено до 15% при збереженні такої ж якості отриманого злитка.

3. Запропоновано модель, яка враховує потоки в об'ємі рідкої краплі при ЕШП РМ. З використанням моделі уперше розрахунковим шляхом визначені відхилення від прогнозованої за Стоксом швидкості переміщення краплі металу у шарі шлаку. Швидкість переміщення зростає зі збільшенням розміру крапель (при діаметрах 3...10 мм на 3...26 % у порівнянні з твердою сферою такого ж діаметра)

4. Розрахунковим шляхом показано, що ступінь деформації рідких металевих крапель при їхньому переміщенні у шарі шлаку збільшується пропорційно до їх розміру (від 0,3 % для краплі діаметром 2 мм до 6 % для краплі 10 мм) і зменшує швидкість їх руху (на 25...30 % для краплі діаметром 10 мм (0,447 проти 0,641 м/с для правильної сфери).

5. Одержали подальший розвиток наукові уявлення про можливість зниження швидкості розливання сталі на МБЛЗ за рахунок електрошлакового підігріву меніску (процес ЕШП+БР). Показано, що при застосуванні основ ЕШП+БР може бути досягнуто покращення внутрішньої структури заготовок. На основі результатів моделювання тверднення заготовки діаметром 500 мм з підігрівом меніску показано скорочення швидкості розливання у 2 рази, при зменшенні глибини металеві лунки у 3 рази і протяжності двофазної зони на 35 %.

4. Практичне значення отриманих результатів

Визначені в роботі особливості перебігу тепло- та масообмінних процесів і формування структури при класичному ЕШП та ЕШП РМ дозволили створити наукове підґрунтя для підвищення ефективності та економічності виробництва злитків з теплостійких й високоміцних сталей. З застосуванням розроблених наукових основ:

1. Виготовлено композитний злиток з мінімізованою зоною змішування сталей (прототип ротора для сучасних енергетичних турбін з надультрасуперкритичною температурою пари).

2. Експериментально перевірено умови організації електрошлакового підігріву меніску, які дозволяють зменшити швидкість розливання на машинах безперервного лиття заготовок, що покращує якість внутрішньої структури заготовок.

3. Розроблено перспективні технічні рішення і схеми ЕШП для виробництва заготовок найвищої якості для магістральних колій зі старих рейок, що гарантує економічну ефективність їх переробки з мінімальними втратами легуючих.

4. Розроблено рекомендації щодо удосконалення технології ЕШП, у основі яких керування швидкістю процесу з метою підвищення якості та стабільності комплексу властивостей теплостійких та високоміцних сталей. Рекомендації передані ПрАТ «Дніпроспецсталь» для використання у виробничому процесі.

5. Теоретичні положення, нові прикладні результати та методики, що розроблені у дисертаційній роботі, впроваджені в лекційному курсі та використовуються при виконанні випускних кваліфікаційних робіт студентами Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського».

6. Доведено технічну та економічну доцільність застосування електрошлакового процесу з рідким металом для виробництва злитків суцільного перерізу великого діаметра (при однаковій продуктивності з ЕШП він може забезпечити економію витрат на електроенергію до 35-57 %, а при підвищеній на 15 % продуктивності – до 45-63 %).

5. Загальна характеристика роботи

Дисертація складається зі вступу, 6 розділів, загальних висновків, списку використаних літературних джерел з 339 найменувань. Дисертація має загальний обсяг 300 сторінок, містить додатків на 2 сторінках, 135 ілюстрацій та 32 таблиці.

Структура роботи відповідає загальноприйнятому підходу до побудови дисертаційних робіт. Матеріали проведених досліджень та теоретичного обґрунтування викладені з дотриманням логіки і в достатньому ступеню аргументовані. Загальне оформлення роботи, в цілому, відповідає вимогам, які висувають до дисертаційних робіт.

У першому розділі авторкою, виконано аналіз сучасному стану ЕШП для одержання сталей особливо високої якості. На основі аналізу виділено два типи ЕШП: традиційні електрошлакові технології із застосуванням витратних електродів ЕШП та електрошлакові процеси без витратних електродів з подачею рідкого металу (ЕШП РМ).

Показано також, що створені технології ЕШП за двоконтурною схемою подачі струму (ЕШП ДС), електрошлакового наплавлення рідким металом (ЕШН РМ) та електрошлакові процеси формування злитків з рідкого металу (ЕШП РМ) дозволяють варіювати швидкістю подачі металу, що сприяє умовам формування злитків для одержання однорідної та бездефектної внутрішньої структури і гладкої поверхні. У розділі висвітлено основні переваги технологій ЕШП з подачею рідкого металу у

струмопровідний кристалізатор над класичним ЕШП з витратним електродом.

Особливу увагу приділено можливості з застосуванням ЕШП РМ виготовлення складнолегованих та важкодеформованих сплавів, для яких виробництво витратного електрода суттєво ускладнено або неможливо. Підкреслюється, що окрім суцільних і порожнистих злитків при ЕШП РМ можливо виготовляти композитні вироби з коаксіальними і горизонтальними шарами (ротори, прокатні вали, шестерні тощо) з мінімізованою зоною змішування (в тому числі різнорідних металів, наприклад сталь-мідь).

За результатами виконаного критичного аналізу технічної інформації та літературного огляду підтверджена актуальність проведення досліджень, сформульовано мету і задачі дослідження для вирішення обраної наукової проблеми.

У **другому розділі** представлені результати дослідження умов протікання фізико-хімічних, тепло- та масообмінних процесів на основних поверхнях взаємодії при ЕШП з витратним електродом і ЕШП РМ. Проведено порівняння рафінуючої здатності двох вказаних вище процесів у співставних умовах (однакова марка сталі, однакова кількість і хімічний склад шлаку) та чистоти одержуваного металу за неметалевими включеннями (НВ).

Прямим експериментальним порівнянням ЕШП з витратним електродом та без такого показано, що плівка на торці електрода не є вирішальною рафінувальною стадією в процесі ЕШП. Взаємодія відбувається на всіх поверхнях контакту металу та шлаку. Експериментальним порівнянням десульфуруючої здатності процесів ЕШП та ЕШП РМ у співставних умовах показано, що ступінь рафінування металу в процесі ЕШП РМ є аналогічним і не меншим ніж при класичному ЕШП. При вмісті сірки в одержаних злитках становить 0,009 мас. %, при ступеню десульфурації у 66 %. Зниження вмісту сірки і зростання ступеню десульфурації в голові злитку ЕШП РМ пояснено авторкою додатковим рафінуванням сталі при її витримці в тигельному/розливному пристрої. Це дає принципову можливість працювати з двома шлаками: в підігрівально-розливному пристрої (ПРП) (в нашому випадку - тиглі) та кристалізаторі. Чистота металу за НВ (з максимальним розміром 3...7 мкм) злитків ЕШП та ЕШП РМ виявилась ідентичною, що є додатковим підтвердженням подібності механізму рафінувальних процесів при ЕШП та ЕШП РМ.

У **третьому розділі** наведені результати досліджень та розрахунків параметрів руху та нагріву крапель рідкого металу в шарі шлаку в процесах ЕШП і ЕШП РМ. Запропоновані моделі руху краплі для розрахунку, що відрізняються від класичного для твердої сфери: крапля рухається з прискоренням з урахуванням потоків в її об'ємі та деформація краплі відсутня; враховано неоднорідність руху і деформацію краплі.

Наведені результати розрахунків часу проходження краплею шару шлаку за запропонованою моделлю та за формулою Стокса. Розрахунками підтверджено суттєвий вплив уточнення, яке враховує ефект руху металу всередині краплі. За обраних умов і теплофізичних параметрів показано, що крапля рідкого металу, наприклад, діаметром 9 мм, рухається в рідкому шлаку на 26 % швидше ніж тверда сфера. Встановлено також, що для краплі металу кожного діаметра існують відповідні умови, при яких вона досягає своєї сталої швидкості руху та температури в залежності від часу руху та відстані від поверхні шлакової ванни. Краплі дрібного розміру (2...4 мм) максимальної температури 2073 К та сталого режиму руху досягають за 0,1-0,3 с і

на відстані 10-40 мм від поверхні. Краплі більшого розміру (10 мм) не встигають протягом свого руху в розплаві шлаку висотою 200 мм набути максимальної температури, та досягають лише температури 1973 К, що на 90-100 К нижче.

Відмічається, що при ЕШП з витратним електродом розмір крапель металу менший і, відповідно, вони рухаються повільніше і нагріваються більше. Це корисно з точки зору рафінування, але погіршує умови тверднення злитка. Навпаки, порівняно великий розмір крапель, на які дробиться струмінь при ЕШП РМ (або їх відсутність), створюють умови для скорочення тривалості взаємодії зі шлаком, але одночасно покращують умови формування злитка.

У четвертому розділі представлені результати застосування ЕШП РМ для отримання прототипу злитків для виготовлення композитних роторів для енергетичних турбін нового покоління з теплостійких сталей 12Х13 та 38ХНЗМФА.

Показано, що ЕШП РМ в струмопідвідному кристалізаторі придатний для послідовного пошарового формування горизонтальних шарів великовагового злитка й наплавлення другого шару на тверду заготовку з мінімізованою зоною змішування сталей різного складу.

За допомогою математичного моделювання знайшли вирішення завдання по визначенню поля електричного потенціалу в рідкій шлаковій ванні і відповідного тепловиділення; розрахунку температурного поля в шлаковій та металевій ваннах; прогнозування глибини проплавлення злитка в залежності від технологічних параметрів процесу. Прогнозуванням за математичною моделлю продемонстровано можливі шляхи оптимізації параметрів кристалізатору для отримання композитних злитків діаметром до 1200 мм з гарантованою якістю перехідної зони двох сталей та мінімізованою глибиною проплавлення. Показано, що збільшення часу підігріву торця заготовки шлаком для злитків діаметром 700 мм – 143-144 хв. та для злитків діаметром 1200 мм – 300-330 хв. забезпечує гарантоване підплавлення вихідної заготовки. Прогнозовано зону змішування до 12-15 % від їх діаметрів.

Представлені результати експериментів з виплавки прототипу композитного ротора, виконані в лабораторних умовах ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України у СПК діаметром 180 мм з витягуванням злитку донизу. Показано, що за швидкості охолодження при ЕШП РМ меншої за 0,9 °С/с забезпечується формування перлітної або перлітно-бейнітної структури з прийнятним рівнем твердості (2000...3000 МПа), що гарантуватиме відсутність ризику утворення холодних тріщин і руйнування в зоні з'єднання. Це свідчить про сприятливі умови обраних режимів для формування композитного злитка зі сталей 12Х13 та 38ХНЗМФА без утворення в зоні з'єднання критичних структур, які можуть привести до його руйнування. Рівень твердості зони з'єднання композитного злитка відповідає властивостям марок сталей 38ХНЗМФА та 12Х13. Металографічними дослідженнями мікроструктури зони з'єднання зразків композитного злитка після TO_1 та TO_2 показали, що в обох випадках зона має структуру дрібнопластинчастого відпущеного мартенситу з більш однорідним розміром первинного зерна ніж без таких.

Встановлено, що ЕШП РМ дає змогу формувати композитні злитки змінного хімічного складу з мінімальною перехідною зоною без формування небезпечних (з точки зору ініціювання руйнування) структур. При ЕШП РМ максимальна глибина проплавлення прототипу композитного ротора зі сталей 12Х13 та 38ХНЗМФА

становить не більш як 15-20 мм, що складає 8-11 % від діаметра злитка і за прогнозами математичної моделі може досягати 12-15% на відміну від класичного ЕШП з електродами, коли утворюється перехідна зона в композитному злитку до 40 % від його діаметра. Проведені дослідження показали принципову можливість застосування ЕШП РМ для формування композитних злитків з гарантованою зоною з'єднання відповідної якості.

У п'ятому розділі представлено результати розрахунково-аналітичного та експериментального обґрунтування гібридного процесу, що поєднує електрошлаковий підігрів меніску металу і безперервне розливання сталі (ЕШП+БР). Використання гібридного процесу направлено на зменшення швидкості витягування заготовки без порушення формування її поверхні для виробництва довгомірної продукції (заготовок залізничних рейок і вісей тощо) на прикладі заготовок рейок з високоміцної сталі.

За побудованими у роботі математичними моделями для різних варіантів організації процесів в кристалізаторі ЕШП при одержанні заготовок МБЛЗ та злитків ЕШП для рейок за різними швидкостями розливання/переплаву визначено, що зберігається практично прямолінійна залежність зменшення глибини металевої ванни (лунки) та двофазної зони від зменшення швидкості розливання, незважаючи на те, що при розрахунках було враховано ефекти впливу чотирьох зон вторинного охолодження, які відрізняються ефективністю тепловідведення. За результатами комп'ютерного моделювання одержання заготовок на машині безперервного розливання Дніпровського меткомбінату ДМКД (м. Кам'янське) із застосуванням програмного продукту THERCAST® (Transvalor, Франція) та програми ProCAST (ESI Group, США) встановлено, що зі зменшенням швидкості від стандартної 600 до бажаної 200 мм/хв. спостерігається істотне зменшення частки рідкого металу, що знаходиться в двофазній зоні. На відстані 1000 мм від нижньої частини кристалізатора вона зменшується з 55 до 20 %, що дозволяє прогнозувати зменшення осьової неоднорідності. Визначено, що процес ЕШП з витягуванням злитка і, особливо, ЕШП РМ, досить близькі за своєю суттю до безперервного розливання.

Отримані результати показують принципову придатність випробуваного шлаку ЕШП (АНФ-28М) для використання його на дзеркалі металу в кристалізаторі при безперервному розливанні довгомірної продукції на прикладі заготовок з високоміцної рейкової сталі. В той же час, авторкою дисертації підкреслено, що для об'єднання переваг цих процесів необхідно вирішити ряд завдань як конструктивного, так і технологічного характеру.

У розділі представлені також результати моделювання безперервного розливання на низьких швидкостях з виготовленням злитків діаметром 180 мм рейкової сталі К76 шляхом ЕШП в СПК за нормальною та підвищеною швидкостях витягування. Досліди були зроблені на литому металі без деформації і термічної обробки (які зазвичай підвищують дисперсність перліту). В металі, виготовленому за обома варіантами технології, спостерігали рівномірний розподіл НВ дрібного розміру (до 3 мкм) правильної глобулярної форми. У розглянутих полях зору будь-яких скупчень чи колоній НВ не знайдено ані в литому, ані в деформованому металі злитків.

У шостому розділі представлені результати проектування технологічного процесу ЕШП РМ для виготовлення злитків суцільного перерізу діаметром 500-2500 мм та розроблені відповідні технологічні рекомендації. За результатами проектування

технологічного процесу ЕШП РМ показано, що при додержанні продуктивності процесу формування злитка, характерної для ЕШП з витратним електродом, а також за адекватно підвищеної (на 15 %) забезпечити безперервне розливання металу неможливо.

Авторкою дисертації доведено, що за заданої продуктивності процесу ЕШП РМ доцільно проводити порційне заливання із розрахованою циклічністю. Для реалізації такого варіанту необхідно спеціальне розливне обладнання, що підігривається, яке придатне для зберігання і дозування металу. В якості підігрівного розливного пристрою при ЕШП РМ запропоновано використання проміжного розливного індукційного ковшу. Також розроблено основи технології процесу ЕШП+БР сучасних рейкових сталей та рекомендації щодо впровадження наукових результатів роботи у виробництво. Запропоновано технологічну лінію процесу ЕШП+БР. Технічні рішення, що покладено в основу цієї технології, було випробувано на промисловій МБЛЗ в частині можливості використання шлаку ЕШП для розливання сталі.

У розділі сформульовано і рекомендації щодо використання одержаних наукових результатів при конструюванні нових печей ЕШП. Розрахунками техніко-економічні показників показано, що витрати електроенергії для отримання однієї тони злитка ЕШП класичного технологічного процесу шляхом переплаву деформованого витратного електрода становлять 1550-2800 кВт·г/т. Витрати електроенергії при отриманні однієї тони злитка ЕШП РМ є суттєво меншими – 1000-1200 кВт·г/т. Крім того, до переваг технологічного ланцюгу виробництва якісних злитків з застосуванням ЕШП РМ метал після позапічної обробки і передачі його в проміжний розливний ківш надходить безпосередньо в кристалізатор для формування злитка, тим самим оминаючи операції виготовлення витратного електрода.

Застосування ЕШП РМ дозволяє заощадити електроенергію на кожній тоні сталі до 550-1600 кВт·г і на величину від 14 до 60 % знизити втрати металу, а за умов підвищення продуктивності процесу ЕШП РМ на 15 % економія електроенергії збільшується до 700-1780 кВт·г на тонні сталі.

Таким чином авторкою дисертації доведено, що застосування ЕШП РМ замість класичного ЕШП у виробництві теплостійких та рейкових сталей може забезпечити суттєву економію витрат на електроенергію: 35-57 % за нормальної продуктивності і на 45-63 % за підвищеної продуктивності. Втрати металу скорочуються на 14-60 %.

6. Повнота відображення у опублікованих роботах основних наукових та практичних результатів дисертації

Основні результати дисертації достатньо повно представлені авторкою у 29 наукових публікаціях, в тому числі 15 статтях у спеціалізованих виданнях, що внесені до переліку фахових видань України, 1 колективній монографії, 5 публікаціях, що внесені до реєстрів міжнародних науково-метричних баз SCOPUS/WoS, 7 тезах та доповідях на науково-практичних конференціях і 1 патенті України. Ступінь апробації результатів дисертаційної роботи можна вважати достатнім.

Опубліковані роботи відповідають темі дисертації, розкривають основні положення і в достатній мірі представляють отримані автором наукові результати. Кількість і склад публікацій відповідає вимогам Державної атестаційної комісії МОН України, що пред'являються до дисертаційних робіт.

7. Основні зауваження по дисертаційній роботі

1. Розмір крапель рідкого металу при ЕШП, які перетинають поверхню шлак-метал за 0,1-0,3 с і формують ванну рідкого металу (с. 79) становить, у тому числі за даними авторки дисертації, від 1 до 10 мм та від 1 до 15 мм за даними чисельного моделювання (с. 80). Як відмічає авторка, при ЕШП РМ струмінь металу може як не дробитися на краплі (с. 80), так і частково (15 % маси металу) утворювати краплі розміром 6–9 мм (с. 81). Потребує додаткових пояснень який, на думку авторки, механізм подрібнення металевого струменя на краплі у шлаку та з яких міркувань для розрахунків й подальшої оцінки обрані саме 15 % маси металу та вказаний розмір крапель, на які подрібнюється струмінь при ЕШП РМ.

2. Потребує пояснень який механізм видалення сірки та неметалічних включень з металу визначено авторкою роботи у якості основного для теоретичного обґрунтування рафінувальної здатності ЕШП РМ та рівноцінності з ЕШП рафінувальних процесів. У тексті дисертації присутній лише опис кінцевого результату рафінування при ЕШП РМ, що не дозволяє визначити основні керуючі впливи на процес десульфурації. Які найбільш визначальні фактори у збільшенні ступеня десульфурації при ЕШП РМ, за думкою авторки, з урахуванням можливості витримки розплаву в утримувально-розливному пристрої (п. 5 висновків, с. 92), додаткового подрібнення крапель (с. 96), зменшення швидкості опускання крапель у шлаку (с. 110) при ЕШП РМ?

3. При класичному ЕШП ускладнюється можливість взаємодії рідкого металу з газами оточуючої атмосфери, а при ЕШП РМ – струмінь металу, хоч і на відносно невеликому проміжку, є відкритим. Який характер змін хімічного складу металу після переплаву? Відсутні також дані щодо порівняльної оцінки кількості неметалічних включень у металі до та після плавки ЕШП та за запропонованим способом ЕШП РМ.

4. При ЕШП рафінування металу проходить в умовах контакту металу зі шлаковою фазою, в основному на торці електрода, а при ЕШП РМ поверхня контакту у рази менше, що повинно відбитися і на якості отриманого злитку. В той же час, для моделювання (с. 95-97) прийнято, що при проходженні краплі металу крізь шар шлаку остання може додатково ділитися на менші краплі (с. 96). Відомості про вплив зміни площі контакту між шлаком та металом на якість злитку, на жаль, відсутні.

5. Якщо у якості захисного, для відкритого струменя, газу пропонується застосування інертного газу у вигляді зустрічного потоку, то яким чином це може вплинути на ступінь подрібнення струменя, напрям його руху, температуру ванни, ступінь рафінування тощо?

6. Потребує пояснень які саме технічні способи захисту відкритого струменю рідкого металу, на шляху до кристалізатора, від контакту з оточуючим середовищем при ЕШП РМ передбачені до промислового застосування авторкою дисертації? Чи проведена теоретична (експериментальна) оцінка та оцінка технологічності такого роду захисту (с. 172)? Які перспективи промислового застосування кільцевої подачі інертного газу при ЕШП РМ (с. 216)?

7. Авторка посилається на результати поведеного за допомогою програми HSC Chemistry 9 термодинамічного аналізу рівноважного стану фаз у потрійній підсистемі Fe-C-Cr (с. 132, 148) та інших, що використані для побудови діаграм фазової стабільності (рис. 4.15-4.19), визначення рівноважного вмісту компонентів системи «газ-шлак-метал» (с.170, 171). На чому ґрунтується припущення щодо співвідно

шення сталей в зоні з'єднання «50% на 50%» (С. 131)? Доцільно було б також навести результати розрахунків, які покладені у висновки на стор. 181.

8. Необхідно відмітити, що розділ 5, який присвячено вивченню ЕШП БЛ дешо випадає за межі побудови структури та послідовності виконання досліджень за темою дисертації та запропонованого авторкою способу ЕШП РМ. Потребує додаткових пояснень, які теоретичні та експериментальні дані з цього розділу використані для обґрунтування та розробки промислової технології та обладнання для реалізації ЕШП РМ (розд. 6).

Вказані зауваження не знижують у цілому наукової та практичної цінності роботи, виконаної на належному науково-технічному рівні, з використанням сучасних методів досліджень та обробки експериментальних даних.

8. Висновок про відповідність дисертації вимогам п. 11 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 № 567

Представлена дисертація Полішко Ганни Олексіївни є закінченою науковою працею, в якій отримані нові наукові та експериментально обґрунтовані результати, за допомогою яких вирішена проблема розробки наукових основ електрошлакового процесу з рідким металом, придатного для отримання злитків суцільного перерізу та композитного хімічного складу з теплостійких та високоміцних сталей.

Наукова новизна та практичні результати, які винесені на захист, відповідають темі та меті дисертаційної роботи, а сама дисертація виконана на достатньо високому науково-технічному рівні. Текст дисертації викладений з використанням сучасної науково-технічної термінології. Результати досліджень в достатній мірі проілюстровані та доповнені таблицями. Загальні висновки відповідають результатам досліджень. Основні і найбільш важливі положення дисертаційної роботи у повній мірі представлені в публікаціях авторки.

Дисертаційна робота відповідає паспорту спеціальності 05.16.02 – «Металургія чорних і кольорових металів та спеціальних сплавів».

Дисертаційна робота відповідає вимогам пп. 9, 10, 12 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 № 567, є закінченою кваліфікаційною науковою роботою, а її авторка, Полішко Ганна Олексіївна, заслуговує присудження їй наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.16.02 – «Металургія чорних і кольорових металів та спеціальних сплавів».

Офіційний опонент:

Завідувач кафедри металургії
чорних металів ім. професора В.І. Логінова
Дніпровського державного технічного університету,
доктор техн. наук, професор

 Є.М. Сігарьов

Підпис Є.М. Сігарьова
Начальник відділу кадрів ДДТУ



засвідчую:



І.І. Лєсова