

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу Рубана Володимира Олександровича
«Розробка енергозберігаючої технології обробки металу на установці «ківш-
піч» при використанні графітованого порожнистого електрода»,
представленої на здобуття наукового ступеня доктора філософії за
спеціальністю 136 – «Металургія»

Оцінка структури змісту дисертації

Дисертаційна робота Рубана Володимира Олександровича складається зі вступу та основної частини з чотирьох розділів з висновком до кожного з них, також загальних висновків і переліку використаних джерел який налічує 139 найменувань публікацій закордонних і вітчизняних авторів та викладений на 15 сторінках. Загальний обсяг дисертаційної роботи викладено на 136 сторінках машинописного тексту, з яких 120 сторінок основного тексту, містить 30 рисунків, 14 таблиць.

Структура роботи по складу та послідовності розділів логічна та відповідає вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

У **Вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, надано інформацію щодо зв'язку роботи з науковими програмами, сформульовано її мету і задачі досліджень, вказано об'єкт, предмет та методи досліджень, викладено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, а також відомості щодо особистого внеску здобувача, апробацію отриманих результатів, представлені дані щодо структури та обсягу дисертації.

У **першому розділі** проведено огляд режимів експлуатації та показників ефективності роботи установки «ківш-піч» (УКП). Наведено аналіз практичного використання графітованих порожнистих електродів (ГПЕ) при вдуванні газу осьовим каналом, однак зафіксовано деяку відсутність даних стосовно формування температурних режимів при експлуатації даного виду

електродів. Автором обґрунтовано вибір напряму досліджень сформульовані завдання своєї роботи.

У **другому розділі** розроблено методику та створено обладнання для проведення фізичного моделювання вдування газу каналом графітованого порожнистого електрода на установці «ківш-піч». Приведено розраховані геометричні параметри лунки металу яка формується під дією електричної дуги, без подачі газу. Зазначено, що глибина лунки, при використанні суцільного електрода, складає приблизно 40 мм.

Визначено критерії подібності, створено установку для фізичного моделювання на ізотермічній холодній моделі для дослідження впливу дуги та газового струменя на геометричні параметри лунки. На основі проведених експериментів акцентовано увагу на такі важливі аспекти, як нестабільність параметрів металевої лунки в піделектродній зоні та можливість розриву шлакового покриву навколо електрода при високій інтенсивності подачі газу. Запропоновано раціональні витрати газу при вдуванні його каналом графітованого порожнистого електрода, що дозволяє оптимізувати процес формування лунки в піделектродній зоні.

Результати дослідження можуть бути корисними для покращення технологічних процесів та оптимізації витрат енергоресурсів.

Третій розділ присвячено розробці методики і методів чисельного моделювання експлуатації графітованого порожнистого електрода. Висвітлено важливі аспекти термодинамічного аналізу процесів дисоціації та відновлення оксидів в зоні горіння дуги. Досліджено склад системи, обрано реакційні рівняння та визначено відновники для регулювання окисленості шлаку. Розраховані значення зміни енергії Гіббса реакцій, що відбуваються в піделектродній зоні за температур горіння дуги.

Розроблено методику визначення градієнту температури графітованого порожнистого електрода. Створена 3D модель графітованого порожнистого електрода. Задані граничні умови враховують реальні умови роботи

електрода, що підвищує достовірність отриманих результатів. Визначено, що газ каналом порожнистого електрода рухається у ламінарному режимі

Наведено опис методики теплової роботи установки «ківш-піч» з використанням графітованого порожнистого електрода при подачі нейтрального газу його каналом. Важливим аспектом є проведений порівняльний аналіз впливу товщини шлакового покриву і витрат газу на теплову роботу установки, що може виявитися корисним для оптимізації процесів виробництва.

У **четвертому розділі** приведено узагальнення результатів чисельного моделювання проведених за методиками наведеними у 3 розділі роботи. Визначено значення температурного діапазону для процесів дисоціації металевих оксидів, які коливаються від 4050 °С до 6800 °С. Отримані дані зміни енергії Гіббса відновлення оксиду заліза за участю вуглецю і алюмінію за температур горіння дуги, розширюють розуміння взаємодії сипких матеріалів у піделектродній зоні.

Отримані дані стосовно градієнту температур в об'ємі графітованого порожнистого електрода свідчать про складний характер їх формування. Встановлено, що вдування газу каналом електрода призводить до зміщення високотемпературної зони до периферії, що в свою чергу сприяє більш рівномірному розподілу температури в об'ємі електрода. Визначено високотемпературну зону електрода в періоди його охолодження яка має форму сплющеного уздовж осі тора яка утворюється за рахунок акумуляції тепла у періоди нагрівання. Це може бути важливим для забезпечення стабільності роботи електрода та ефективності нагріву сталі на установці «ківш-піч».

Автором отримано детальні дані щодо розподілу густини теплового потоку через криволінійну поверхню лунки металу та шлакового покриву в піделектродній зоні на установці «ківш-піч». Визначено, долі теплоти які передаються металу, окремо випромінюванням та конвекційною теплопередачою. Отримані результати показують, що при використанні

графітованого порожнистим електрода з подачею газу його каналом у порівнянні зі звичайним електродом (без подачі газу) частка теплоти, яку поглинає металева ванна та шлаковий покрив, збільшується, що є ключовим для оптимізації та ефективного використання енергії при позапічній обробці сталі на установці «ківш-піч».

Узагальнюючи, представлені дослідження роблять важливий внесок у розуміння протікання теплових процесів у системі «плазма-шлак-метал» та вказує на можливість покращення технологічних параметрів за допомогою управління газовим потоком через канал порожнистого електрода.

У **загальних висновках** дисертації викладено найбільш важливі наукові та практичні результати, що були отримані в дисертаційній роботі і сприяли розв'язанню сформульованого науково-прикладного завдання.

Перелік посилань, які були використані здобувачем в аналітичному огляді завдання, достатньо повно охоплює зазначену галузь знань та відображає основні напрями розвитку досліджень та технології позапічної обробки сталі на установці «ківш-піч».

Оцінка оформлення, мови і стилю дисертації. Матеріали дисертації викладені послідовно, а їх оформлення відповідає вимогам щодо дисертацій на присвоєння вченого звання доктора філософії. Мова і стиль дисертації забезпечують доступність сприйняття викладених матеріалів досліджень, наукових положень, висновків і рекомендацій. Дисертація написана та оформлена відповідно до вимог щодо дисертацій доктора філософії.

Наукові результати дисертації

1. Вперше отримані відомості щодо спільного впливу імпульсу електричної дуги і газового струменю, який подається каналом ГПЕ на змінення геометричних параметрів лунки. Показано, що подача газу каналом ГПЕ збільшує поверхню теплообміну. На основі обробки експериментальних даних отримані аналітичні вирази, що показують спільний вплив імпульсу електричної дуги і газового струменю, які впливають на характеристику теплообміну.

2. Встановлено закономірності формування температурного поля та визначено вплив подачі газу на змінення температурних показників ГПЕ в процесі його експлуатації на установці «ківш-піч». Визначено, що в періоди експлуатації електрода без подачі струму спостерігається утворення локально перегрітої зони в його нижній частині, що має форму сплющеного уздовж осі тора, на формування якої впливає теплота, яка була акумульована електродом в попередньому періоді нагріву.

3. Шляхом чисельного моделювання з використанням детермінованих моделей встановлено, що частина теплоти отриманої металом випромінюванням збільшується за рахунок подачі газу каналом порожнистого електрода і сягає величини 86,89 %.

Практичні результати дисертації

Проведені дослідження дозволили отримати математичні моделі для описання форми і розмірів лунки сформованої в піделектродній зоні на установці «ківш-піч» при подачі газу ГПЕ. Показано, що подача нейтрального газу за обраних витрат, які становлять від 3 до 10 м³/год при висоті шлакового покриву 100–200 мм збільшує площу поверхні металеві лунки в 1,1 – 1,7 рази. За рахунок цього покращуються умови передачі теплоти від дуги до металеві ванни.

Отримані дані зміни енергії Гіббса процесів дисоціації і відновлення порошкоподібних оксидів металів, які подаються каналом ГПЕ в реакційну зону під електродом при температурах горіння електричної дуги. Визначено, що протікання реакцій дисоціації відбувається в діапазоні температур 4050–6800 °С, у той час як відновлення – 800–3000 °С. Показано доцільність використання вуглецю у якості відновника за температур горіння дуги 3000–7000 °С.

Отримані дані градієнту температур в об'ємі ГПЕ з подачею газу його каналом під час позапічної обробки сталі на УКП. Так, в періоди нагріву на торці електрода градієнт температур складає від 6,57 °С/мм до 8,29 °С/мм, а в

періоди охолодження суттєво знижується і від епіцентру тора до торця електрода складає 1,47 °С/мм, до внутрішньої та зовнішньої поверхонь – 0,38 °С/мм і 3,61 °С/мм відповідно.

Встановлено важливі показники стосовно теплової роботи установки «ківш-піч» в піделектродній зоні, які в подальшому можуть бути використані для вдосконалення виробничих процесів. Визначено вплив зміни геометричних параметрів реакційної зони під електродом на приріст температури ванни. Так, максимальні значення приросту температури металу склали 0,6 °С/хв.

Отримані дані дають змогу: знизити процес окислення графітованого електрода шляхом екрануванням інертним газом, особливо в зоні високих температур, за рахунок висхідних потоків аргону; покращити теплову роботу електрода; збільшити кількість теплоти переданої металевій ванні.

Новизна технічних рішень захищена патентом на корисну модель «Спосіб обробки рідкого металу в агрегаті ківш-піч» (№ 147183 від 21.04.2021 р.). Результати дисертаційної роботи можуть бути використані в рамках виконання науково-дослідницьких робіт та впроваджені в навчальний процес Українського державного університету науки і технологій при підготовці магістрів за спеціальністю 136-Металургія.

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях. Основний зміст дисертації опубліковано в 23 наукових працях: з них 2 статті в журналах, включених до міжнародних наукометричних баз даних Scopus та WoS; 3 статті у фахових виданнях, що відповідають переліку ДАК МОН України; 1 патент на корисну модель; 16 тез доповідей науково-практичних конференцій; 1 методичні вказівки.

Зауваження по дисертаційній роботі

По дисертаційній роботі можна зробити наступні зауваження:

1. В анотації дисертаційної роботи на стор. 4 стверджується, що «Визначено діапазон температур, за яких бере початок процес дисоціації та

відновлення (при використанні у якості відновника вуглецю) обраних оксидів металів». Однак, з тексту не зрозуміло який саме вуглець виступає відновником?

2. Не зрозуміло як вплине використання різних типів газів та їх сумішей на геометрію лунки і теплопередачу.

3. Дисертантом не досліджено питання хвилеутворення на поверхні лунки металу в піделектродній зоні за рахунок комплексного впливу електричної дуги та газового струменю який подається каналом графітованого порожнистого електрода.

4. У розділі 4.2 (стор. 105–106 рис. 4.6–4.7) автор наводить результати чисельного моделювання зміни температурних показників графітованого порожнистого електрода у вигляді графіків. Для інженерних та наукових розрахунків корисніше було б представити отримані залежності у формі математичних рівнянь.

Однак, зроблені зауваження не знижують загальної позитивної оцінки дисертації.

Відповідність змісту дисертації спеціальності

Дисертаційна робота Рубана В.О. «Розробка енергозберігаючої технології обробки металу на установці «ківш-піч» при використанні графітованого порожнистого електрода» за своїм змістом відповідає паспорту спеціальності 136 - «Металургія».

Загальний висновок та оцінка роботи

Дисертаційна робота Рубана В.О. на тему «Розробка енергозберігаючої технології обробки металу на установці «ківш-піч» при використанні графітованого порожнистого електрода» є завершеним науково – прикладним дослідженням, виконаним на високому науковому рівні та відповідає вимогам, передбаченим «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 №44 від 12 січня

2022р.), положенням Вимог до оформлення дисертації (затверджених наказом Міністерства освіти і науки України №40 від 12 січня 2017р.), а здобувач **Рубан Володимир Олександрович** заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 136 – «Металургія».

Офіційний рецензент:

доцент кафедри металургії чавуну і сталі

Українського державного університету

науки і технологій,

кандидат технічних наук, доцент

Підпис Мамешина В.С. ЗАСВІДЧУЮ

