

## 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.

**В першому розділі** виконаний аналіз літературних джерел, який є досить детальним та інформативним. Акцентовано увагу на важливості газодинамічних показників при вдуванні газу через осьовий канал графітованого електрода. Дисертантом вказано на недостатню кількість інформації щодо впливу кількості шлаку на взаємодію газового струменю з поверхнею металу в піделектродній зоні. Проведено аналіз застосування графітованих порожнистих електродів в сучасних умовах. На основі

проведеного огляду, автор обґрунтував напрям та сформулював завдання своїх досліджень.

**Другий розділ** присвячено дослідженню зміни геометричних параметрів лунки, сформованої електричною дугою без подачі газу, під час позапічної обробки сталі на установці «ківш-піч». Основні результати дослідження вказують на важливі аспекти взаємодії між електричною дугою та газовим струменем, враховуючи різноманітні умови роботи даного агрегату. Зокрема, було визначено, що глибина лунки металу змінюється в залежності від витрати газу та висоти шлакового покриву. В той час як глибина лунки, яка утворена під впливом електричної дуги дорівнює 40 мм.

Для проведення фізичного моделювання впливу дуги та газового струменя на геометричні параметри лунки дисертантом розроблено методику, розраховано критерії подібності та створено лабораторну установку. Наведено основні результати досліджень, які вказують на важливі аспекти взаємодії між електричною дугою та газовим струменем за різних умови роботи даного агрегату.

**В третьому розділі** автором приведено методики та методи чисельного моделювання роботи графітованого порожнистого електрода на установці «ківш-піч». Для проведення аналізу термодинамічних процесів дисоціації та відновлення оксидів в зоні горіння дуги було визначенню склад системи, здійснено вибір відновників для регулювання окисленості шлаку.

Значну увагу дисертантом приділено розробці методик по тепловій роботі електрода та його впливу на ефективність передачі теплоти металевій ванні. Створено 3D моделі, задано граничні умови, визначено параметри руху газу. Проведено комп'ютерне моделювання нестационарної теплопередачі у системі «плазма–шлак–метал», що є важливим для розрахунку та оптимізації технологічних процесів.

**В четвертому розділі** дисертантом наведені результати роботи отримані на основі розроблених методик і проведеного чисельного моделювання. Виокремлено найбільш стійкі металеві оксиди у системі «метал-шлак» у піделектродній зоні за температур горіння дуги, серед яких: оксид титану, діоксид кремнію, оксид алюмінію, оксид кальцію і оксид

магнію. Також, підтверджено мимовільне протікання реакцій в піделектродній зоні під час горіння дуги.

Отримано значення температурних показників графітованого порожнистого електрода. Зокрема, в періоди охолодження електрода, відзначається утворення високотемпературної зони, яка має форму сплющеного уздовж осі тора. Відмічено, що використання графітованого електрода з осьовим каналом сприяє більш рівномірному розповсюдженню температури його об'ємом. Приведено значення Джоулевої теплоти, яка виділяється при проходженні електричного струму через графітований порожнистий електрод в періоди нагріву, значення якої сягають  $1,15 \text{ МВт/м}^3$ .

Приведені дані теплообміну в піделектродній зоні які дозволили визначати ефективність передачі теплоти безпосередньо від електричної дуги до металеві ванни через поверхню лунки утвореної від електродугового розряду з урахуванням зміни її форми та утворення додаткових конвекційних потоків через вдування газу каналом графітованого порожнистого електрода. Порівняно використання звичайного електрода з порожнистим. Визначено, що при використанні графітованого порожнистого електрода кількість теплоти отриманої металом зростає на 1,83 % при мінімальній висоті шлакового покриву, та на 7,25 % при максимальній висоті шлаку. Визначено приріст швидкості нагрівання розплаву при використанні даної технології, значення якого сягають  $0,6 \text{ }^\circ\text{C/хв}$ .

В цілому, дослідження відзначаються високим рівнем методичності, завдяки чому вагомий вклад зроблено у вивчення високотемпературних процесів та можливості їх оптимізації.

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 м<sup>3</sup>/год при висоті шлакового покриву 100–200 мм збільшує площу поверхні металевої лунки в 1,1 – 1,7 рази.

За рахунок цього покращуються умови передачі теплоти від дуги до металевій 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 дисоціацій 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. Було б доцільно провести оцінку можливості мікролегування та модифікування сталі порошковими реагентами, що інжектуються у сталь каналом порожнистого електрода. А саме оцінити можливе їх засвоєння металом на етапах проникнення у металеву фазу, та їх угар.

2. Для підтвердження результатів комп'ютерного та фізичного моделювання було б доцільно провести напівпромислові або промислові випробування запропонованої технології.

3. Для полегшення сприйняття рисунка 4.1 – «Зміна енергії Гіббса реакцій дисоціації металевих оксидів в залежності від температури», який приведено на стор. 99, доцільніше було б додати опис кривих на самому графіку.

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:

В.о. завідувача кафедри інтелектуальної  
власності та управління проєктами  
Українського державного університету  
науки і технологій,  
доктор технічних наук, професор

Підпис Петренка В.О. ЗАСВІДЧУЮ

