

ВІДГУК

офіційного опонента 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
у галузі знань 13 Механічна інженерія за спеціальністю 136 Металургія

1. Актуальність теми дисертаційної роботи

Сучасними технологічними маршрутами виробництва якісних марок сталі передбачається обов'язкове використання установок «ківш-піч» для доведення сталі за хімічним складом та температурою перед розливанням на МБЛЗ. Енергоємність процесу коригування температури, вартість та ступінь засвоєння металом введених добавок-модифікаторів, розкислювачів та легуючих суттєво впливають на собівартість та конкурентоспроможність металопродукції на світових ринках.

Тема дослідження є актуальною, оскільки спрямована на теоретичне обґрунтування та лабораторне відпрацювання технології доведення сталі на УКП перед розливанням з використанням графітованих порожнистих електродів для вдування крізь канал газу або порошкоподібних оксидів металів з їх відновленням та зменшенням витрат коштовних феросплавів. Вирішення поставлених у дисертаційній роботі завдань щодо розробки енергозберігаючої технології нагріву та доведення сталі сприятиме покращенню техніко-економічних показників роботи установки «ківш-піч» та технологічного маршруту в цілому.

Одержані наукові і практичні результати орієнтовані на раціональне використання сировини та електроенергії.

2. Ступінь обґрунтованості та достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій

Основні наукові положення дисертації, висновки та рекомендації у достатньому ступеню обґрунтовані та відповідають об'єктивній дійсності.

В роботі використані сучасні методики досліджень, у тому числі експериментальні дослідження та математичного моделювання розроблених технічних рішень. Теоретичні дослідження ґрунтувались на фундаментальних положеннях теорії металургійних процесів, термодинаміки. Для статистичної обробки експериментальних даних застосовували прикладні комп'ютерні програми.

Достовірність результатів дослідження забезпечується їх відповідністю відомим результатам промислової практики використання установок «ківш-піч», встановленим закономірностям, коректністю побудови моделей, доцільністю використання базових положень теорії металургійних процесів, широкою апробацією результатів досліджень.

3. Наукова новизна одержаних результатів

У дисертаційній роботі виконано комплекс теоретичних розробок та експериментальних досліджень, направлених на наукове обґрунтування та удосконалення технології доведення сталі на установках «ківш-піч». Отримані наукові результати використані для розробки елементів енергозберігаючої технології обробки сталі зі суміщеним використанням газового струменю та електричної дуги для формування розвинених реакційних зон, обґрунтування можливості дисоціації оксидів металів за рахунок використання тепла електричних дуг.

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

1. Вперше отримані відомості щодо спільного впливу імпульсу електричної дуги і газового струменю, який подається крізь канал у графітованому електроді на змінення геометричних параметрів лунки. Визначений ступінь впливу подачі нейтрального газу крізь канал у електроді на зміну площі поверхні теплообміну у металевій ванні. На підставі обробки отриманих експериментальних даних запропоновані аналітичні вирази, що враховують сумісний вплив імпульсу газового струменю та електричної дуги на теплообмін у реакційних зонах.

2. Встановлено закономірності формування температурного поля та визначено вплив подачі газу на розподіл температур у тілі графітованого порожнистого електрода у період його використання на установці «ківш-піч» та у періоди простою. Визначено, що в періоди експлуатації УКП без формування електричної дуги спостерігається утворення локально перегрітої зони в нижній частині електродів, що має форму сплющеного уздовж його осі тора. Формування зони визначається впливом теплоти, акумульованої тілом електрода в попередньому періоді нагріву.

3. З використанням методів чисельного моделювання визначено, що обсяги теплоти, отриманої металевим розплавом випромінюванням, збільшуються за рахунок подачі газу каналом порожнистого електрода на 1,83-7,25 %, в залежності від витрат газу, зі забезпеченням приросту швидкості збільшення температури металу від 0,21 до 0,61 °С/хв.

4. Практичне значення результатів дослідження

Результати наукових досліджень Рубана В.О. стосуються сфери удосконалення технології позаагрегатної обробки сталі перед розливанням на МБЛЗ на основі застосування сумісного впливу газових струменів та електричної дуги на металеву ванну у сталюковшій й можуть представляти інтерес при модернізації конструкцій установок «ківш-піч», електродів та розробки енергозберігаючих технологічних маршрутів виплавки якісних марок сталі.

Запропоновані математичні моделі, придатні для розрахунку параметрів реакційних зон, що формуються у піделектродних зонах на поверхні ковшової ванни з врахуванням подачі газу крізь канал електрода. Теоретично обґрунтоване поліпшення умов передачі теплоти від електричної дуги металу може сприяти зменшенню тривалості періодів нагріву та заощадженню електричної енергії. Визначені характер та показники розподілу температур у тілі електрода можуть

бути використані при розробці технічних рішень у напрямках удосконалення конструкції та режимів експлуатації останнього на установках «ківш-піч».

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 при виконанні науково-дослідницьких робіт, впроваджені у навчальний процес підготовки здобувачів вищої освіти за спеціальністю 136 Металургія.

5. Повнота відображення наукових положень, висновків і рекомендацій в опублікованих роботах

Зміст та основні положення дисертаційної роботи відображені у 22 публікаціях, у тому числі 2 публікаціях, що входять до міжнародної наукометричної бази Scopus, 3 статтях у наукових фахових виданнях (категорії Б), рекомендованих МОН України, 16 тезах доповідей у збірниках матеріалів конференцій. Новизна технічних рішень захищена патентом України на корисну модель.

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.

6. Оцінка змісту дисертаційної роботи та її завершеності

Дисертаційна робота складається зі вступу, 4-х розділів, загальних висновків, списку використаних літературних джерел зі 139 найменувань. Загальний обсяг дисертаційної роботи 136 сторінок, вона містить 30 ілюстрацій та 14 таблиць.

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 до дисертаційних робіт.

У вступі відображена актуальність теми, зв'язок роботи з науковими напрямками діяльності кафедри металургії чавуну і сталі УДУНТ, мета і задачі дослідження, визначені об'єкт і предмет, методи досліджень, сформульована наукова новизна одержаних результатів та їх практичне значення. Наведено дані щодо особистого внеску автора та апробації результатів дисертаційної роботи, кількість публікацій, що відображають зміст роботи, опис її структури та обсягу.

У першому розділі представлена загальна характеристика режимів експлуатації та аналіз показників ефективності роботи установки «ківш-піч». Акцентовано увагу на актуальність удосконалення технології та забезпечення енергозбереження в умовах зменшення запасу ентальпії металу внаслідок тривалих операцій транспортування та доведення перед розливанням на МБЛЗ.

До одного із визначальних автором віднесено шлаковий режим обробки сталі на установці «ківш-піч», особливої уваги приділено необхідності формування шару шлакового покриву визначеної товщини. Розглянуті питання витрат електроенергії, теплових втрат металевим розплавом при введенні добавок

при виробництві різних марок сталі на установці «ківш-піч» та способам компенсації останніх.

Наведено аналіз практики використання графітованих порожнистих електродів з початку 50-х років з виокремленням особливостей впливу подачі газів крізь канал у електроді на стабільність та потужність дугового розряду.

У другому розділі представлені результати розрахунків геометричних параметрів піделектродних реакційних зон (лунок), утворених як газовим струменем та під сумісним впливом струменя й електричної дуги; глибини лунки, утвореної лише під дією дуги. Наведено опис використаних для обґрунтування методики проведення фізичного експерименту критеріїв подібності та опис лабораторної установки, використаної для вивчення особливостей формування лунки під впливом газового струменя.

За результатами проведених експериментів отримані дані щодо параметрів лунки в залежності від висоти рідини, моделюючої шлаковий покрив та питомих витрат газу. На основі аналізу отриманих даних запропоновані раціональні діапазони питомих витрат газу, що подається крізь канал у графітованому електроді з врахуванням товщини шлакового покриву на установках «ківш-піч».

Отримані дані, придатні для подальших досліджень термодинамічних умов дисоціації та відновлення оксидів металів у зоні горіння дуги, розподілу температур у тілі електрода та теплообміну у системі «електрична дуга-шлак-метал».

Третій розділ присвячено опису методики чисельного моделювання впливу газових струменів на поверхню ковшової ванни, результатів моделювання теплових умов роботи графітованого електрода, результатів дослідження термодинамічних умов та обмежень використання порошкоподібних матеріалів, що запропоновано подавати у потоці газу-носію у реакційну зону взаємодії газових струменів з металевою ванною.

Визначено, що газ в каналі електрода у заданих умовах рухається у ламінарному режимі, а теплообмін у системі «стінка електрода - газова атмосфера над поверхнею ковшової ванни» відбувається за рахунок вільної конвекції та випромінюванням.

Представлено опис методики розрахунку впливу товщини шлакового покриву і витрат газу, що вдувають крізь канал електрода, на теплову роботу останнього й зміну інтенсивності приросту тепловмісту сталі.

У четвертому розділі представлено результати обробки та узагальнення результатів термодинамічного та чисельного моделювання, виконаних за методиками, наведеними у розділі 3. На основі аналізу результатів розрахунку визначено можливість самовільного протікання реакцій дисоціації оксидів металів й раціональні типи відновників для регулювання окисленості шлаку, умови дисоціації у діапазоні температур, що існують у зонах горіння електричних дуг.

Отримані нові дані стосовно градієнту температури поверхні електрода та його внутрішньої поверхні у різні періоди роботи установки «ківш-піч». Визначені зони максимізації температури та особливості конфігурації температурного поля при використанні порожнистого електрода. Показано, що подача газу крізь канал у тілі електрода здатна призвести до зміщення

високотемпературної зони до периферії й більш рівномірному розподілу температур.

Представлені також результати досліджень теплообміну у системі «дуга - шлак - метал» з урахуванням впливу газу на параметри реакційної зони, що формується під електродом, й утворення додаткових конвекційних потоків. Показано можливість збільшення частини тепла, поглинутого металевим розплавом при використанні газових струменів, на 1,83-7,25% в залежності від товщини шлакового шару на поверхні ванни.

7. Зауваження по суті виконаних досліджень

1. На підставі яких міркувань, за умов використання методики «холодного» моделювання (с. 68, с. 76 перший абз.) із формуванням виключно газового струменя стверджується, що вперше досліджений сумісний вплив на поверхню ковшової ванни електричної дуги та потоку газу? Потребує додаткових пояснень яким чином при «холодному» моделюванні може бути враховано температурний фактор, нестационарність дуги, зміна концентрації порошків-добавок у газі-носії та їх вплив на формування властивостей шлаку, розташування електричних дуг по відношенню до донних пробок та т. ін. згідно з пропозиціями автора?

2. При горінні електрична дуга постійно переміщується по поверхні торця електродів, при цьому місце її прив'язки до поверхні ванни змінюється, а з переміщенням дуги на тверді куски присаджених сипучих матеріалів змінюється й стабільність горіння та умови теплообміну з розплавом. Як впливає вдування газу у рекомендованих автором витратах на стабільність дуги та $\cos\phi$ за вказаних вище умов роботи останньої? В анотації дисертаційної роботи (с. 4, другий абзац) задекларовано зменшення питомого опору електроду, що у свою чергу «покрощує умови горіння дуги». Потребує уточнення механізм впливу питомого опору електроду на умови формування та горіння дуги.

3. Під час нагрівання розплаву на УКП забезпечується продування ванни аргоном з витратою 30-150 л/хв крізь донні блоки, що призводить до формування на поверхні металевої ванни «вікон», вільних від шлаку (діаметром від 200 до 1000 мм), які займають визначену частину площі поверхні ванни. Визначення умов спливання пазирів з металевої ванни у шлак «без розриву шлакового шару» (с. 71-73) при «холодному» моделюванні виконано без врахування подачі газу знизу. Який ступінь достовірності отриманих даних для перенесення на промисловий агрегат з врахуванням інтенсивного перемішування ковшової ванни?

4. Потребує додаткових пояснень характер впливу товщини шару шлаку на глибину лунки (рис. 2.8, с.77), у тому числі за відсутності врахування у запропонованих автором моделях (2.11, 2.12 с. 76) змін властивостей шлаку (утворення «коржів», розрідження тощо) при обробці металу у промисловому агрегаті. При цьому враховуючи необхідність зміни положення торця електроду

при зміні товщини шару шлаку (с. 112) та відповідною зміною глибини лунки, утвореної електричною дугою.

5. У локальних об'ємах в зоні впливу електричних дуг метал може бути перегрітим по відношенню до об'єму металевої ванни на 300⁰С. Який, на думку автора, ступінь впливу газу, що вдувають крізь канал в електроді у визначених діапазонах його витрат 0,05-0,16 м³/хв. (висновки, п.10-12, с. 120) на градієнт температур в тілі електроду та поверхнях реакційних зон у періоди нагріву металу з врахуванням висновку (с. 108, абзац 3) стосовно відсутності суттєвого впливу витрат газу на температурне поле ГПЕ?

6. Як відомо з практики використання УКП легуючі добавки та модифікатори сталі вводять у гідродинамічно активні зони ковшової ванни з метою максимізації їх засвоєння. Яким чином враховані дані вимоги у пропозиціях автора стосовно введення порошкоподібних оксидів металів у потоці газу крізь канал електроду та які раціональні питомі витрати останніх?

7. На графіках (рис. 4.1, с. 99, рис. 4.6, с. 105, рис. 4.7, с. 106, рис. 4.9, с. 110) відсутні відповідні позначення кривих, що ускладнює аналіз наведених залежностей та оцінку їх відповідності висновкам.

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.

Щодо оформлення та викладу матеріалу:

1. Окремі пункти загальних висновків носять характер філософських та суперечливих. Наприклад, «... отримані дані градієнту температур поверхні ГПЕ та його внутрішньої частини, які свідчать про досить складний характер формування зон нагріву і охолодження...». «... подача нейтрального газу каналом графітованого порожнистого електрода з витратами 3 м³/год зміщує високотемпературну зону до периферії, що сприяє більш рівномірному розповсюдженню температури його об'ємом».

2. Окремі формулювання у тексті дисертації сприймаються неоднозначно. Наприклад, твердження автора про те, що «Отримані дані дають змогу: знизити процес окислення графітованого електрода шляхом екранування інертним газом...» виглядає у певній мірі дискусійним із врахуванням спроможності «даних впливати на процеси окислення» з одного боку, і можливостей екранування торця електроду обсягами інертного газу, які рекомендовані у висновках з іншого із врахуванням діапазону температур дуги 3000-7000 ⁰С. Назва та розділу 2 «Створення обладнання ...», підрозділу 2.1 «Підготовка до фізичного моделювання ...» не у повній мірі відповідає очікуванням в умовах застосування автором стандартних методик, моделей ковша та фурми, що моделює графітований порожнистий електрод.

3. У переліку посилань є повторення. Наприклад джерела №126 та №133.

8. Висновок про відповідність дисертації встановленим вимогам

У цілому дисертаційна робота Рубана Володимира Олександровича є закінченою науковою працею, у якій отримані нові науково обгрунтовані теоретичні та практичні результати, що у сукупності сприяють вирішенню науково-технічної задачі – удосконаленню технології обробки сталі на установках «ківш-піч» з використанням елементів ресурсо- та енергозбереження.

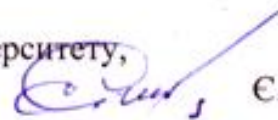
Наукова новизна та практичні результати, які винесені на захист, відповідають темі та меті дисертаційної роботи, а сама дисертація виконана на достатньо високому науково-технічному рівні. Текст дисертації викладений з використанням сучасної науково-технічної термінології. Результати досліджень в достатній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

За об'єктом і предметом дослідження, характером та рівнем вирішених задач, отриманими результатами дисертаційна робота відповідає вимогам ДАК МОН України, що пред'являються до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

Вважаю, що за науковим рівнем, новизною одержаних результатів, їх теоретичній і практичній значимості, обсягом виконаних досліджень та публікацій дисертаційна робота відповідає вимогам п. 8 «Положення про порядок присудження наукових ступенів», а її автор Рубан Володимир Олександрович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 136 Металургія.

Офіційний опонент:

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



Є.М. Сігарьов

Підпис Є.М. Сігарьова

засвідчую:

Начальник відділу кадрів
Дніпровського державного технічного університету




І.І. Лесова