

Трушійнянці до
районної вченої ради
PHD 77 44
СВР - Сергійтевич А.Г.
12.02.2025

Відгук

офіційного опонента

Смірнова Олексія Миколайовича

на дисертаційну роботу

Арендач Наталі Анатоліївни

«РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗАСАД ОКИСЛЮВАЛЬНОЇ ПРОДУВКИ
В СТАЛЕРОЗЛИВНОМУ КОВШІ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ СТАЛІ З НИЗЬКИМ
ВМІСТОМ ВУГЛЕЦЮ»

представленої на здобуття наукового ступеня доктора філософії по
спеціальності 136 – «Металургія»

Актуальність теми дисертаційної роботи

Металургійна промисловість у ХХІ столітті лишається одним з головних виробників основних конструкційних матеріалів – сталей та чавунів. Наразі розроблена значна кількість марок сталей, які відрізняються одна від одної службовими властивостями. Особливе місце серед сталей займають низьковуглецеві сталі з вмістом вуглецю нижче 0,1 %. Вони відрізняються високими показниками витяжки у холодному стані й використовуються переважно у автобудуванні для виготовлення корпусів транспортних засобів. При цьому їх застосування дозволяє значно зменшити металоємність продукції при збереженні експлуатаційних показників на високому рівні.

Враховуючи вітчизняні особливості організації та забезпечення підприємств зазначеної галузі, необхідно відзначити, що виробництво зазначеного сортаменту сталей є вкрай обмеженим і представлено трьома підприємствами в технологічному циклі сталі на яких застосовується технологія ГКР, причому лише на одному з них паралельно використовується технологія вакуумування сталі. Таким чином, у вітчизняних умовах виробництво сталей з вмістом вуглецю менше 0,1 % є вкрай обмеженим.

Виходячи з наведеного вище, можна відзначити, що представлена в дисертаційній роботі технологія окислення вуглецю до концентрації менше 0,1 % на етапі позапічної обробки сталі за рахунок продувки сумішшю технологічних газів системи «кисень – нейтральний газ» є актуальною для умов вітчизняних металургійних підприємств. Її використання дозволить значно розширити сортамент сталей, що виробляються, без суттєвого розширення бази обладнання та устаткування.

Оцінка структури та змісту дисертаційної роботи

Структурно дисертаційна робота складається зі вступу; основної частини, що включає п'ять розділів з висновками; загальних висновків по роботі; переліку використаних джерел та додатку. Матеріали дисертаційного дослідження викладено на 153 сторінках машинописного тексту, з яких 136 сторінок основного тексту роботи, що містить 93 рисунки, 9 таблиць і 1 додаток.

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях

Автором, за результатами проведеного наукового дослідження, опубліковано 15 друкованих праць, в тому числі: у 5 наукових статтях, опублікованих у вітчизняних фахових виданнях за спеціальністю 136 – «Металургія» (з них 1 стаття опублікована англійською мовою); у 1 патенті України на корисну модель; у 9 тезах доповідей на міжнародних та всеукраїнських науково-технічних та науково-практичних конференціях (з них 1 конференція проводилася за кордоном).

Розділи дисертаційної роботи висвітлено в опублікованих працях Арендач Н.А. відповідно до номерів, наведених у списку Додатку А дисертаційної роботи:

- Розділ 1 у доповідях на конференціях №11 та № 12.

- Розділ 2 у фахових періодичних виданнях № 3 та № 4, у доповіді на конференції № 13.
- Розділ 3 у фахових періодичних виданнях № 1 та № 2, у патенті № 6, у доповідях на конференціях № 7, № 8 та № 9.
- Розділ 4 у фаховому періодичному виданні № 5, у доповіді на конференції № 10.
- Розділ 5 у доповідях на конференціях № 14 та № 15.

Аналіз наукових результатів дисертації

Перший пункт наукової новизни: «Отримали подальшого розвитку уявлення що до перебігу окислювальних реакцій в багатокомпонентних залізовуглецевих сплавах за рахунок кисеньвмісної газової фази та тиску на процеси окислення вуглецю на етапі позапічної обробки сталі. Встановлено, що вірогідність протікання реакції розчинення кисню у розплаві та окислення вуглецю до СО збільшується на 19%відн. при збільшенні тиску у 34 рази за рахунок гідростатичного впливу шару металу та шлаку для сталерозливного ковша ємністю 250 т».

В дисертаційній роботі автор базує своє дослідження на використанні фундаментальних закономірностей фізичної хімії та теорії металургійних процесів стосовно особливостей окислення вуглецю в металевій ванні. Необхідно відзначити, що основним засобом для проведення досліджень у зазначених умовах є термодинамічний аналіз. На даний момент більшість всіх термодинамічних досліджень проводилися для етапів виготовлення сталі у плавильних агрегатах (для умов взаємодії шлако-металевої емульсії з кисневими струменями, що витікають зі звуковою та понадзвуковою швидкістю) та для умов позапічного вакуумування. Таким чином, представлені в дисертаційній роботі залежності впливу гідростатичного тиску шару металу для умов сталерозливного ковша ємністю 250-т на вірогідність протікання процесів окислення домішок багатокомпонентного

залізовуглецевого розплаву, відповідно до яких можна встановити пріоритетність процесів розчинення газоподібного кисню у розплаві та утворення CO за рахунок взаємодії розчиненого кисню з вуглецем розплаву відносяться до елементів новизни наукового характеру.

Другий пункт наукової новизни: «За результатами фізичного моделювання при використанні методу тіньової зйомки вперше встановлено, що при взаємодії газових потоків, які витікають з однаковими газодинамічними характеристиками в порожнину камери змішування під кутом $25 - 40^\circ$ до вертикальної вісі камери, відбувається повне їх змішування без втрати швидкості потоку суміші газів».

В дослідженнях газодинамічних особливостей використовується метод «Тіньової зйомки» для визначення структури, швидкості та щільності газових струменів, при цьому у якості кількісних показників використовується саме геометричні параметри струменя ті інтенсивність забарвлення певних його ділянок, що відображають ділянки з різною щільністю та, відповідно, з різною швидкістю. Таким чином за результатами дисертаційного дослідження встановлено, що умовою змішування двох газових потоків є витікання вздовж однієї вісі назустріч один одному, проте це супроводжується асиміляцією газових струменів за рахунок впровадження молекул газу одного потоку у інший з повною втратою швидкостей струменями. Витікання газових струменів під певним кутом до вертикальної вісі дозволяє забезпечити змішування потоків з мінімальними втратами швидкості.

Третій пункт наукової новизни: «Для промислових умов обробки сталі у ковші ємністю 250-т за результатами низькотемпературного моделювання (рідина, що імітує сталь - вода), встановлено гідродинамічні особливості гомогенізації рідини в сталерозливному ковші при донній продувці сумішшю системи «кисень-нейтральний газ». Вперше встановлено,

що за інтенсивності $1 \text{ м}^3/\text{т}\cdot\text{год}$ (за умов збільшення витрати продувного газу на 20 % у порівнянні зі стандартною технологією) відбувається утворення тангенціальних потоків, які пульсують й залучають більшу частину ванни (~ на 52 %) до перемішування та ~ на 42 % скорочується тривалість усереднення хімічного складу рідини при додаванні у якості імітатора добавки, що розчиняється, хлориду натрію».

При дослідженні гідродинамічних особливостей руху рідин за умов обробки металевих розплавів донною продувкою в ковші пріоритетна роль в усередненні металевої ванни надавалася виключно вертикальному руху рідини без урахування інших можливих траєкторій руху. При проведенні фізичних низькотемпературних досліджень візуальним аналізом та із залученням кондуктометричного методу визначення стану гомогенності розчину автором дисертаційної роботи встановлено та доведено важливість впливу тангенційного руху бульбашкової системи, що формується під час донної продувки (у горизонтальній площини ванни) на ефективність процесів масообміну в металевій ванні, що на пряму впливає на час гомогенізації рідини у ковші за хімічним складом.

Четвертий пункт наукової новизни: «За результатами лабораторного високотемпературного моделювання вперше встановлено, що за умов продувки металевого розплаву з вмістом вуглецю 0,3 %мас. сумішшю системи «кисень-нейтральний газ» при вмісті кисню 20 – 30 % спостерігається пріоритетне окислення вуглецю зі швидкістю 0,056 %мас/хв з досягненням його кінцевого вмісту 0,01 % з мінімальним окисленням інших домішок у розплаві».

З теоретичних відомостей та технологічного досвіду виробництва сталей з вмістом вуглецю нижче 0,1 % мас. відомо, що основним методом їх масового виробництва на сучасному етапі є процес AOD/ ГКР. У зазначених технологічних операціях використовуються технологічні гази системи «кисень – нейтральний газ», як у послідовному використанні в залежності від

періоду виплавки, так і у вигляді сумішей різного складу. Базуючись на досвіді використання зазначених вище технологічних процесів та з урахуванням результатів власних попередніх досліджень автором запропоновано та доведено у лабораторних умовах на високотемпературній моделі раціональний склад суміші системи «кисень – нейтральний газ» для здійснення процесу пріоритетного окислення вуглецю на етапі позапічної обробки сталі за рахунок донної продувки у бульбашковому режимі. При цьому, як було доведено за результатами високотемпературного лабораторного дослідження раціональний вміст кисню у продувному газі повинен складати на рівні 20 – 30 %.

Практична значимість:

1. Встановлено, що раціональна форма бульбашкоутворювача донного продувного блоку містить ненаправлену пористість або щілинні отвори з відстанню між щілинами 1,0-1,5 мм, при цьому час гомогенізації металеві ванни скорочується на 42% у порівнянні з використанням каналної пористості.

2. Розроблено авторську методику електрокондуктометричного дослідження стосовно перерозподілу домішок в об'ємі металеві ванни сталерозливного ковша, яка підвищує інформативність щодо ефективності впливу режиму перемішування ванни на розподіл домішок за об'ємом всієї ванни.

3. Запропоновано конструкцію донного продувного блоку для продувки залізобуглецевого розплаву газовою сумішшю системи «кисень-нейтральний газ», яка складається із бульбашкоутворювача, камери для змішування газів та каналів для підведення газів. Запропонована конструкція захищена патентом України № 126453 «Вогнетривкий блок для продувки металу газами».

4. Розроблено рекомендації використання у промислових умовах технології донної продувки рідкого розплаву у сталерозливному ковші при позапічній обробці сумішшю газів системи «кисень-нейтральний газ» (вміст кисню 20-30%, загальна витрата газової суміші 0,25-0,29 м³/т·год), які забезпечують отримання сталі з вмістом вуглецю до 0,01%.

Відповідність змісту дисертації спеціальності

Дисертаційна робота Арендач Н.А. «Розробка технологічних засад окислювальної продувки в сталерозливному ковші при виробництві сталі з низьким вмістом вуглецю», за своїм змістом відповідає паспорту спеціальності 136 «Металургія».

Зауваження по дисертаційній роботі

По дисертаційній роботі можна зробити наступні зауваження:

1. При проведенні низькотемпературного моделювання не зрозуміло чи враховувався вплив температури та тиску на щільність й витрату продувального газу в модельних та реальних умовах.

2. З матеріалів дисертаційної роботи не зрозуміло чи була оцінена економічна ефективність розробленої технології виробництва сталей з вмістом вуглецю менше 0,1 %.

3. Не вказано чи буде запропонований варіант технології впливати на тривалість загального циклу виробництва сталі.

4. З матеріалів дисертаційної роботи не зрозуміло чим саме обґрунтовано продувку через 1 донний продувний блок, хоча з практики металургійного виробництва відомо, що для ковшів великої ємності використовується продувка через 2 донних продувних блоки.

5. У 3 пункті наукової новизни вказано, що рекомендована інтенсивність продувки для умов сталерозливного ковша ємністю 250-т

складає 1 м³/год, проте в матеріалах дисертаційної роботи зазначається, що вказана інтенсивність стосується низькотемпературної моделі, а для реального ковша вона складає 0,268 м³/год.

Проте, зазначені зауваження не знижують загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи.

Загальний висновок та оцінка роботи

Дисертаційна робота Арендач Наталі Анатоліївни на тему «Розробка технологічних засад окислювальної продувки в сталерозливному ковші при виробництві сталі з низьким вмістом вуглецю» є завершеним науково-прикладним дослідженням, виконаним на високому науковому рівні та відповідає вимогам, що встановлені «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 № 44 від 12.01.2022р.), положенням «Вимог до оформлення дисертаційної роботи» (затверджених наказом Міністерства освіти і науки України №40 від 12.01.2017р.), а здобувач **Арендач Наталя Анатоліївна** заслуговує на присудження **наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 136 – «Металургія».**

Офіційний опонент:

Завідувач відділу магнітної гідродинаміки
Фізико-технологічного інституту металів
та сплавів, доктор технічних наук, професор

Олексій СМІРНОВ

Підпис О.М. Смірнова затверджую:

Вчений секретар ФТІМС НАН України
кандидат технічних наук, старший науковий співробітник



Володимир ЛАХНЕНКО