

УДК 681.51.007.57:669.184

РЕГУЛЮВАННЯ РЕЖИМУ ДУТТЯ ДВОХ'ЯРУСНИХ ФУРМ

Богушевський В.С., Сергєєва К.О., НТУУ „Київський політехнічний інститут

Проаналізовані напрями підвищення ефективності киснево-конвертерного процесу шляхом збільшення частки брухту в металевій частині шихти. Запропоновано збільшити кількість тепла, що надходить від допалювання СО у СО₂ у порожнині конвертера регулюванням інтенсивності дуття на другий ярус фурми.

Проанализированы пути повышения эффективности кислородно-конвертерного процесса путем увеличения доли лома в металлической части шихты. Предложено увеличить количество тепла, поступающего от дожигания СО в СО₂ в полости конвертера, управлением интенсивностью дутья на второй ярус фурмы.

The ways of enhancing the efficiency of BOF process by increasing the proportion of scrap in the metal part of the charge are examined. Increasing the amount of heat, coming from the post-combustion of CO to CO₂ in the cavity of the converter, by controlling the intensity of the blast in the second tier of lances is proposed.

Вступ

Одним із недоліків киснево-конвертерного виробництва сталі є порівняно невелика частка металевого брухту в шихті. Для виробництва сталі металевий брухт порівняно з чавуном є менш енергоємною (на два порядки) і дешевою (більш ніж удвічі) сировиною. За умов теплового балансу витрати брухту на плавку без вжиття спеціальних заходів не перевищують 25 – 27 % маси металеві шихти [1].

Серед спеціальних способів збільшення частки брухту в шихті використовують попереднє нагрівання брухту, вводять паливо в процесі продувки, заздалегідь нагрівають чавун, проводять допалювання СО в порожнині конвертера.

Допалювання СО в порожнині конвертера проводять уведенням кисню у верхню частину порожнини конвертера. Це досягається подаванням кисню через двох'ярусні фурми. Додатковий ярус сопел спрямований униз під кутом близько 30⁰ до вертикалі та призначений для

подавання мало інтенсивного потоку кисню назустріч потоку СО, який піднімається в конвертері. Витрати брухту збільшуються на 1,5 – 9 %.

Регулювання ступеню допалювання СО у СО₂ відбувається шляхом зміни інтенсивності подання кисню на другий ярус, що змінюється за періодами продувки і залежить також від відстані кінцевика фурми від рівня спокійного металу.

Суттєвим недоліком такого підходу до регулювання є відсутність зворотного зв'язку по дійсному ступеню допалювання СО і, як наслідок, неоптимальний процес регулювання.

Постановка задачі

Мета роботи – підвищити ефективність переробки брухту шляхом оптимізації процесу допалювання СО в порожнині конвертера.

Результати досліджень

Для досягнення поставленої мети треба вирішити дві задачі: забезпечити контроль ступеня допалювання СО в порожнині конвертера і винайти спосіб оптимального управління процесом продувки через двох'ярусні фурми на базі результатів цього контролю.

Контроль ступеня допалювання СО в порожнині конвертера

Нами досліджена можливість контролю ступеня допалювання СО у порожнині конвертера по інформації про амплітудно-частотну характеристику газів, що відходять з конвертера. Відомо, що швидкість зневуглецювання рідкої ванни характеризується пульсаційним характером, що є результатом механічної і хімічної дії струменя на ванну [2]. Пульсаційний характер процесу зневуглецювання призводить коливальної зміни тиску газів в порожнині конвертера, яка передається по газовому тракту.

Відповідно першому закону термодинаміки

$$\Delta Q = \Delta U, \quad (1)$$

де ΔQ – кількість теплоти, що надходить робочому тілу, Дж; ΔU – зміна внутрішньої енергії робочого тіла, Дж.

З іншого боку, тепловиділення в системі протягом одного циклу коливань можна визначити як

$$\Delta Q = qv_{\Gamma}/f, \quad (2)$$

де q – питома теплота згоряння палива, Дж/кг; v_r – масова витрата палива, кг/с; f – частота коливань тиску газу, Гц.

Відповідно теорії класичної статистики Максвелла зміну внутрішньої енергії газу можна визначити

$$\Delta U = m_r i R \Delta T / 2\mu, \quad (3)$$

де m_r – маса газу, кг; i – з урахуванням коливальних кількостей ступенів вільності руху однієї молекули газу; R – універсальна газова стала, що дорівнює 8314 Дж/кмоль · К; ΔT – зміна температури газу, К; μ – молярна маса газу, кг/кмоль.

Для описання стану реальних газів при низьких тисках і високих температурах, що має місце у киснево-конвертерному процесі, можна використовувати рівняння Менделєєва-Клапейрона:

$$\Delta p V = m R \Delta T / \mu, \quad (4)$$

де Δp – амплітуда коливань тиску газу, Па; V – об'єм газу, м³.

Використовуючи (1) – (4), отримуємо вираз для амплітуди коливань тиску газу

$$\Delta p = 2 q v_r / i V f. \quad (5)$$

Найбільш достовірна амплітудно-частотна характеристика газів, що відходять, має місце у верхній частині під'ємного газоходу, тому що в ній проходить повне молярне перемішування конвертерного газу з повітрям, що підсмоктується.

Вважаючи, що під час продувки конвертера виділяються тільки вуглецьвміщуючі гази CO і CO₂, (5) можна перетворити

$$\Delta p_1 = \frac{2 \cdot 22,4 q_{CO} v_c \gamma_{CO}}{12 i_{CO_2} (V_{kc} + V_r) f_1 \gamma_{CO_2}}, \quad (6)$$

де Δp_1 – амплітуда коливань тиску газу у верхній частині під'ємного газоходу; q_{CO} – питома теплота згоряння CO при допалюванні конвертерних газів, що при нормальних умовах дорівнює 127 · 10⁵ Дж/м³; v_c – швидкість зневуглецювання у ванні конвертера, кг/с; γ_{CO} – ступінь окиснення вуглецю до монооксиду у ванні конвертера; i_{CO_2} – з урахуванням коливальних кількостей ступенів вільності однієї молекули двоокису вуглецю, що дорівнює 8; V_{kc} , V_r – об'єми відповідно кесону і газоходу, м³;

f_1 – частота коливань тиску у верхній частині газоходу, Гц; γ_{CO_2} - об'ємна частка CO_2 від допалювання конвертерних газів.

Для визначення γ_{CO} – необхідна інформація про швидкість зневуглецювання, яку вимірюють будь-яким відомим способом, наприклад по балансу вуглецю в конвертері і газах, що відходять [3].

Регулювання процесу допалювання монооксиду вуглецю в порожнині конвертера

Розглянемо регулювання процесу продувки за енергозберігаючою технологією, що направлена на підвищення ступеня утилізації теплоти конвертерного газу, для отримання сталі з мінімальною витратою ресурсів.

Для підвищення ступеня утилізації теплоти допалювання моно оксиду вуглецю в робочому просторі конвертера періодично змінюють інтенсивність дуття, що подається на другий ярус фурми.

Керуючі діяння реалізують наступним чином. Визначають ступінь допалювання CO у CO_2 у порожнині конвертера, і періодично змінюють на 10 % інтенсивність подання дуття на другий ярус фурми, наприклад зменшують, визначають ступінь допалювання CO у CO_2 і в разі його зменшення змінюють інтенсивність подання дуття у протилежному напрямку, відповідно збільшують. Між послідовними змінами інтенсивності подання дуття проводять витримку часу, що дорівнює сталій часу реагування конвертера на такі збурення (30 с).

$$\Delta v_{(n+1)} = \Delta v_n + K_2 \text{ при } \Delta v_n > \Delta v_{(n-1)}, \gamma_{CO_2n} > \gamma_{CO_2(n-1)},$$

$$\Delta v_{(n+2)} = \Delta v_{n+1} + K_2 \text{ при } \Delta v_{n+1} > \Delta v_n, \gamma_{CO_2(n+1)} > \gamma_{CO_2n},$$

або

$$\Delta v_{(n+1)} = \Delta v_n + K_2 \text{ при } \Delta v_n < \Delta v_{(n-1)}, \gamma_{CO_2n} < \gamma_{CO_2(n-1)},$$

$$\Delta v_{(n+1)} = \Delta v_n - K_2 \text{ при } \Delta v_n < \Delta v_{(n-1)}, \gamma_{CO_2n} > \gamma_{CO_2(n-1)},$$

$$\Delta v_{(n+2)} = \Delta v_{n+1} - K_2 \text{ при } \Delta v_{(n+1)} < \Delta v_n, \gamma_{CO_2(n+1)} > \gamma_{CO_2n},$$

$$\Delta v_{(n+1)} = \Delta v_n - K_2 \text{ при } \Delta v_n > \Delta v_{(n-1)}, \gamma_{CO_2n} < \gamma_{CO_2(n-1)},$$

де Δv – зміна інтенсивності дуття, m^3/s ; K_2 – коефіцієнт, що дорівнює наприклад $0,1 v_n$; γ_{CO_2} – ступінь окислення конвертерного газу до CO_2 в порожнині конвертера; $(n-1)$, n , $(n+1)$ – індекси попереднього, поточного та наступного значення параметра.

Ступінь окислення конвертерного газу до CO_2 в порожнині конвертера визначають по формулі:

$$\gamma_{CO_2} = 1 - \gamma_{CO},$$

де γ_{CO} – ступінь окислення вуглецю до CO в порожнині конвертера.
Система керування процесом продувки наведена на рисунку.

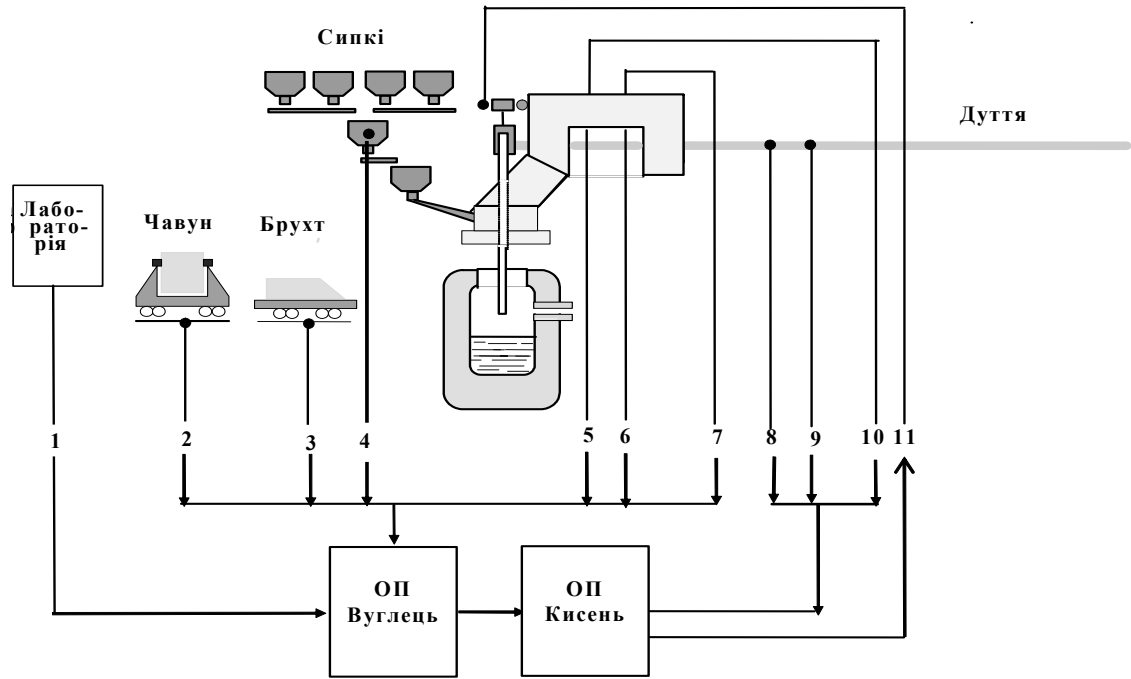


Рисунок. Система керування процесом продувки:

1 – хімічний аналіз чавуну; 2 – маса чавуну; 3 – маса брухту; 4 – маса сипких матеріалів; 5 – вимірювач хімічного аналізу газів, що відходять із конвертера; 6 – вимірювач витрати газів; 7 – вимірювач температури газів; 8, 9 – вимірювачі витрати дуття на нижній і верхній ярус фурми; 10 – вимірювач тиску газів, що відходять з конвертера; 11 – регулювання витрати дуття на другий ярус фурми.

В конвертері окиснення елементів чавуну проводять дуттям, що подають через перший і другий ярус фурми. Продукти реакцій, що переходять у газову фазу, видаляються через газохід. Швидкість зневуглецювання обчислюють за балансом по інформації про вміст вуглецю в чавуні, хімічний склад, витрату і температуру газів, що відходять в обчислювальному пристрої Вуглець, який виконано на контролері. Амплітуду і частоту коливань тиску газу знаходять в обчислювальному пристрої Кисень, який керує подання дуття на другий ярус фурми [4].

Висновки

1. Розроблено теоретичні основи контролю ступені допалювання CO у CO₂ у порожнині конвертера шляхом контролю амплітудно-частотної характеристики газів, що виходять із конвертера.

2. Підвищена ефективність киснево-конвертерного процесу шляхом регулювання інтенсивності дуття, що подається з другого ярусу фурми.

3. Впровадження запропонованої технології дозволить підвищити кількість брухту в металевій частині шихти конвертерної плавки на 1 – 3 %.

Література

1. Мокринский А.В., Протопопов Е.В., Чернятевич А.Г. Гидродинамические режимы взаимодействия кислородных струй с конвертерной ванной // Изв. вуз. Черная металлургия, 2005. – №4. – С.11 – 17.
2. Математические модели и системы управления конвертерной плавкой / В.С. Богушевский, Л.Ф. Литвинов, Н.А. Рюмшин и др. – К.: НПК «Киевский институт автоматики», 1998. – 304 с.
3. Богушевский В.С., Рюмшин Н.А., Сорокин Н.А. АСУ ТП производства стали в конвертерах. – К.: Техніка, 1991. – 180 с.
4. Патент на корисну модель МПК (2009) МПК C21C5/28, №48101, Богушевський В.С, Сергеева К.О., Бюлетень №5, 10.03.2010