

УДК 669.184.244.66.001.57-52

## **РІВНЯННЯ МАСООБМІНУ КИСНЕВОГО КОНВЕРТОРА**

*С.В. Жук*

*Національний технічний університет України*

*“Київський політехнічний інститут ”*

*Розглянуті деякі рівняння масообміну, які визначають процес контролю продувки кисневого конвертора.*

*Рассмотрены некоторые уравнения массообмену, которые определяют процесс контролирования продувки кислородного конвертера.*

*They Are Considered some equations of the changing the mass, which define the process of controlling of blowing out of oxygen converter.*

### **Вступ**

Киснево – конверторна ванна – це складна багатокомпонентна система, яка характеризується протіканням аерогідродинамічних, тепломасообмінних, хімічних та інших незворотних процесів, які визначають кінетику рафінування. Складні процеси переносу у ванні конвертора проходять за умов вимушено рухаючогося, багатокомпонентного середовища, яке піддається фазовим перетворенням.

Реальна конверторна ванна – неідеальна, важка, стиснена та багатокомпонентна рідина з великим числом внутрішніх зв'язків між параметрами і їх взаємним, переважно нелінійним впливом.

### **Постановка задачі дослідження**

Метою дослідження є аналіз впливу основних факторів на масообміні процеси, що протікають в кисневому конверторі.

### **Результати дослідження**

Основним процесом в сталеплавильній ванні являється переніс газоподібного кисню. Окиснення неуглецевих домішок ванни, таких як фосфор, силіцій та манган, проходить селективно і закінчується наближаючись до рівноважних значень, уже в першій половині продувки.

Фундаментальне значення для енергетики і масообміну процесу мають термохімічні реакції окислення вуглецю та заліза ванни. Конверторний газ є нічим іншим як продуктом зневуглецювання ванни, до

складу якого входять СО та СО<sub>2</sub> [1]. В робочому просторі конвертора оксид вуглецю частково догоряє в діоксид. Протікання цієї реакції, як і протікання реакції горіння заліза веде до зниження швидкості вигорання вуглецю, внаслідок зменшення коефіцієнта засвоєння кисню вуглецем ванни.

Швидкість зневуглецювання ванни за балансом кисню можна представити у такому вигляді:

$$\frac{dG_c}{d\tau} = 10^{-2} G_{\text{ч}} \frac{dC}{d\tau} = 10^{-3} \frac{2 \cdot 12}{22,4} \left[ v \gamma_1 (1 - \gamma_2) - 10^{-3} (1 - \gamma_{\text{CO}}) \frac{dC_c}{d\tau} \right] \times \frac{22,4}{2 \cdot 12} - 10^{-3} \frac{dG_{\text{Fe}}}{d\tau} \cdot \frac{22,4}{2 \cdot 56} \quad (1)$$

де  $\frac{dG_c}{d\tau}$  – масова швидкість зневуглецювання ванни, т/хв.;

$G_{\text{ч}}$  – маса чавуну, т;

$v$  – інтенсивність подачі дуття, м<sup>3</sup>/хв.;

$\gamma_1, \gamma_2$  – коефіцієнти, що враховують чистоту та втрати дуття;

$\gamma_{\text{CO}}$  – масова доля вуглецю ванни, який окислюється до СО в порожнині конвертора за рахунок кисню дуття;

$\frac{dG_{\text{Fe}}}{d\tau}$  – масова швидкість окиснення заліза ванни;

Змінну температури ванни по ходу продувки в динаміці, можна виразити наступним рівнянням:

$$c G_{\text{ч}} \frac{dt}{d\tau} = Q_{\text{CO}} \frac{dG_c}{d\tau} + (Q_{\text{CO}_2} - Q_{\text{CO}}) (1 - \gamma_{\text{CO}}) \frac{dG_c}{d\tau} \gamma_3 + Q_{\text{Fe}} \frac{dG_{\text{Fe}}}{d\tau} - \frac{60}{10^3} \left[ q_{\text{л}}(\varphi) + q_{\text{а.с}} \right] \quad (2)$$

де  $c$  – середня питома теплоємність рідкого металу при середній за продувку температури, яка дорівнює 0,88 кДж/(кг·К);

$\frac{dt}{d\tau}$  – швидкість зміни температури ванни, К/хв;

$Q_{\text{CO}}, Q_{\text{CO}_2}, Q_{\text{Fe}}$  – питомі, нестандартні теплові ефекти хімічних реакцій утворення відповідних оксидів вуглецю та заліза в робочому просторі конвертера при стандартній температурі газоподібного кисню, кДж/кг;

$\gamma_3$  – коефіцієнт, який характеризує використання ванною теплоти від догорання СО і СО<sub>2</sub>, в порожнині конвертора, який дорівнює 0,7[2];

$q_{л}(\varphi)$  – потужність, яка витрачена на нагрів та розплавлення брухту певного виду  $\varphi$  по ходу продувки, кВт;

$q_{а.с}$  – тепловий потік, який обумовлений втратою на нагрів активного шару футерівки конвертора по ходу продувки, кВт.

Оксид вуглецю конверторного газу повністю догоряє в підйомному газоході ОКГ за рахунок підсмоктаного кисню повітря. Довжина шляху, на якому проходить повне молекулярне перемішування конвертерного газу з всмоктаним повітрям, дорівнює приблизно десятикратному діаметру горловини конвертора.

Рівняння теплового балансу в перехідному газоході ОКГ має вигляд:

$$C_r \left( \frac{dG_{CO_2}}{d\tau} + \frac{dG_{CO}}{d\tau} + 10^{-3} \rho_{\text{возд.0}} v_{\text{возд.0}} - \gamma_{CO} \frac{dG_C}{d\tau} \cdot \frac{32}{2 \cdot 12} \right) (t_{\text{фак}} - t_r) = \frac{60}{10^3} (1 + \gamma_4) (q_k + q_r) \quad (3)$$

де  $C_r$  – середня питома теплоємність продуктів згорання газу кДж/кг·К;

$\frac{dG_{CO}}{d\tau} = \gamma_{CO} \frac{dG_C}{d\tau} \cdot \frac{28}{12}$  – масовий показник витрат оксиду вуглецю з конвертора, т/хв;

$\frac{dG_{CO_2}}{d\tau} = (1 - \gamma_{CO}) \frac{dG_C}{d\tau} \cdot \frac{44}{12}$  – масовий показник витрат діоксиду вуглецю з конвертора, т/хв;

$\rho_{\text{возд.0}}$  – щільність повітря при нормальних фізичних умовах, яка дорівнює 1,293 кг/м<sup>3</sup>;

$t_{\text{фак}}, t_r$  – температура факела полум'я і газів в підйомному газоході, °С;

$\gamma_4$  – коефіцієнт, який характеризує втрати у навколишнє середовище і дорівнює 0,015 для ОКГ с допалюванням і 0,005 без утилізації теплоти [3];

$q_k$  і  $q_r$  – відповідно теплові потоки, які сприймаються кесоном і поверхнею нагріву екранних труб підйомного ОКГ, кВт.

Рівняння (1) – (3) вміщують чотири невідомі величини  $\frac{dG_C}{d\tau}$ ,  $\frac{dt}{d\tau}$ ,

$\frac{dG_{Fe}}{d\tau}$  і  $\gamma_{CO}$ . Вимір будь-якої з них дозволить визначити інші параметри

ванни. Найбільш легко проконтролювати швидкість зневуглецювання одним із відомих способів [4] і по ній визначити інші параметри.

## Висновок

При побудові нових математичних моделей чи покращенню вже існуючих слід приділяти велику увагу основним процесам, що відбуваються в конвертері, і визначають власне сам процес конвертерного виробництва сталі – перенесення газоподібного кисню, окиснення вуглецю та заліза ванни.

Отримані балансові рівняння у сукупності з контролем швидкості зневуглецювання дозволяють визначити основні параметри технологічного процесу і організувати процес керування.

## Література

1. Богушевский, В.С. Основы математического описания технологических процессов конвертерного производства стали [Текст] / В.С. Богушевский, Н.А. Рюмшин, Н.А. Сорокин. – К.: НПО “Киевский институт автоматики”, 1992.- 168с.
2. Богушевский, В.С. АСУ ТП производства стали в конверторах [Текст] / В.С. Богушевский, Н.А.Рюмшин, Н.А. Сорокин. – К.: Техника,1991.-180с.
3. Математические модели и системы управления конвертерной плавкой [Текст] / В.С. Богушевский, Л.Ф. Литвинов, Н.А. Рюмшин, В.В. Сорокин. – К.: НПО “Киевский институт автоматики”, 1998.-304с.
4. Богушевский, В.С. Определение скорости обезуглероживания в ванне конвертера [Текст] / В.С. Богушевский, Н.А. Сорокин, Е.И. Беляев // Изв. вузов. Чер. металлургия. – 1986. – № 2. – С. 18 – 21.