

2. Совершенствование технологии выпечной обработки стали на установки ковш-печь / *И. В. Деревянченко, О. Л. Кучеренко, А. В. Гальченко и др.* // *Сталь*. – 1999. – № 7. – С. 30–32.

3. *Бондарь В. И.* Некоторые особенности технологии обработки конвертерной стали в ковше твердыми шлакообразующими смесями на основе извести / *В. И. Бондарь, С. Л. Макуров, И. Н. Костыря* // *Вісник Приазов. держ. техн. ун-ту : зб. наук. праць / ПДТУ*. - Маріуполь, 2010. - Вип. 21. - С. 31-35. - (Серія : Технічні науки).

УДК 669.184

**В.С. Богушевський, Ю.І. Сирбу, В.В. Пономаренко**

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ

### **БАЛАНСОВА МОДЕЛЬ КОНВЕРТЕРНОЇ ПЛАВКИ**

Представлена модель конвертерної плавки, що включає чотири рівняння: баланс кисню, температури у ванні конвертера, на рівні горловини і в газозоді. Наведено перелік додаткових параметрів, що необхідно вимірювати для функціонування моделі.

Процеси нагрівання металу, первинного і вторинного окиснення домішок в ванні конвертера знаходяться в тісному взаємозв'язку. Саме окиснення домішок приводить до підвищення температури ванни, а, в свою чергу, температурні умови впливають на розподілення дуття на реакції окиснення [1]. Розгляд цих процесів у взаємозв'язку дозволяє збільшити точність контролю основних параметрів ванни конвертера. При цьому виявляється, що кількість вимірювальних параметрів, що характеризують процеси у ванні конвертера, є явно недостатньою. Для вирішення системи рівнянь до датчиків контролю тиску газу, що відходить з конвертера, в перехідному газозоді, температури факела полум'я в під'ємному газозоді, температурного перепаду води, що охолоджує кесон, і витрати кисневого дуття додаються датчики контролю температури газу в перехідному газозоді, розрідження у нижній площині кесона, витрати води, що охолоджує кесон, і температурного лінійного подовження екранних труб під'ємного газозоду по ходу продувки.

Швидкість зневуглицювання ванни через об'ємну витрату кисневого дуття:

$$\frac{dm_C}{d\tau} = 10^{-2} \times m_{\text{ч}} \frac{dC}{d\tau} = 10^{-3} \frac{2 \times 12}{22,4} \left[ V \gamma_1 (1 - \gamma_2) - 10^3 (1 - \gamma_{\text{CO}}) \frac{dm_C}{d\tau} \times \frac{22,4}{2 \times 12} - 10^3 \frac{dm_{\text{Fe}}}{d\tau} \times \frac{22,4}{2 \times 56} - \sum V_R \right] \quad (1)$$

де  $\frac{dm_C}{d\tau}$  – масова швидкість зневуглецювання ванни, т/хв.;  $m_{\text{ч}}$  – маса чавуна на плавку, т;  $\frac{dC}{d\tau}$  – швидкість зневуглецювання ванни, %/хв.;  $V$  – об’ємна витрата дуття, м<sup>3</sup>/хв.;  $\gamma_1$  – коефіцієнт, чистоти дуття;  $\gamma_2 = 0,01$  – коефіцієнт, втрат дуття;  $\gamma_{\text{CO}}$  – масова частка вуглецю ванни, що окиснюється до CO в порожнині конвертера;  $\frac{dm_{\text{Fe}}}{d\tau}$  – масова швидкість окиснення заліза ванни, т/хв.;  $\sum V_R$  – об’ємна витрата дуття для окиснення домішок чавуна, м<sup>3</sup>/хв.

Зміна температури ванни в динаміці по ходу продувки дорівнює

$$c_{m_{\text{ч}}} \frac{dt}{d\tau} = Q_{\text{CO}} \frac{dm_C}{d\tau} + (Q_{\text{CO}_2} - Q_{\text{CO}}) (1 - \gamma_{\text{CO}}) \frac{dm_C}{d\tau} \gamma_3 + Q_{\text{Fe}} \frac{dm_{\text{Fe}}}{d\tau} - \frac{60}{10^3} [q_{\text{л}}(\Psi) + q_{\text{а.с}} - \sum q_R + \sum q_i] \quad (2)$$

де  $c$  – середня питома теплоємність рідкого металу, що за середньої за продувку температурі 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 і заліза в робочому просторі конвертера за стандартної температури газоподібного кисню, кДж/кг елемента, що окиснюється;  $\gamma_3$  – коефіцієнт використання ванною теплоти від допалювання CO до CO<sub>2</sub> в порожнині конвертера, що дорівнює 0,7;  $q_{\text{л}}(\Psi)$  – потужність, що витрачається на нагрівання і розплавлення брухту виду ( $\Psi$ ) по ходу продувки, кВт;  $q_{\text{а.с}}$  – тепловий потік, що обумовлений втратою на нагрівання активного шару футерівки конвертера по ходу продувки, кВт;  $\sum q_R$  – сумарна потужність тепловиділення по ходу продувки при окисненні домішок чавуна, кВт;  $\sum q_i$  – сумарні втрати потужності на засвоєння добавок, кВт.

Система рівнянь також включає рівняння теплового балансу на рівні горловини конвертера і в перехідному газоході [2]. Вирішення системи дозволяє безперервно визначати швидкість зневуглецювання, зміни температури ванни, окиснення заліза і ступінь допалювання CO до CO<sub>2</sub> у ванні конвертера.

Експериментальна перевірка динамічної моделі показала задовільне відображення процесів, що проходять у ванні конвертера. Середнє квадратичне відхилення становило: по швидкості зневуглецювання 0,0078 %/хв., по температурі 10,6 °С, вмісту кисню заліза 0,82 %, ступеня допалювання 0,026.

## Література

1. Основи металургійного виробництва металів і сплавів: Підручник / [Д.Ф.Чернега, В.С.Богушевський, Ю.Я.Готвянський та ін.]; За ред. Д.Ф.Чернеги, Ю.Я.Готвянського. – К.: Вища школа, 2006. – 503 с.
2. Керування киснево-конвертерною плавкою в замкненому режимі / В.С.Богушевський, С.В.Жук, Є.К.Бондаренко, О.О.Капусняк // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2014. – № 5. – С. 76 – 83.

УДК 669.14.018.8:621.746.58

**Б. М. Бойченко<sup>1</sup>, Е. В. Синегин<sup>1</sup>, Sergiy Boichenko<sup>2</sup>**

1 – Национальная металлургическая академия Украины, Днепр

2 – ThyssenKrupp Presta TechCenter AG, Німеччина

### **РЕЖИМ НАГРЕВА ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОВША МНЛЗ И СОДЕРЖАНИЕ ВОДОРОДА В ФЛОКЕНОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ СТАЛЯХ**

Можно считать доказанным [1], что отбраковка по флокенам непрерывнолитой флокеночувствительной металлопродукции из первых плавов серий «плавка на плавку» является следствием значимого водородосодержания футеровки промковша после ремонта его перед новой серией.

Водород в огнеупорах футеровки содержится в растворённом состоянии и в порах, капиллярах в виде свободной и химически связанной влаги, его концентрация резко снижалась при повышении температуры рабочего слоя стенок и днища промковша.

При сушке обычного для мировой практики [2] торкретслоя могут возникнуть проблемы, когда испаряющаяся химически связанная и содержащаяся в порах огнеупора влага не успеет удалиться через свободную поверхность. Это вызовет повышение давления внутри слоя, что может привести к его растрескиванию и уменьшению срока службы, а также может возникнуть «вспучивание» рабочего слоя и отделение его от основного арматурного. Поэтому при решении поставленной задачи исследовали влияние параметров рабочего слоя, могущих уменьшать содержание [H] в стали, на максимальное давление испаряющейся влаги внутри слоя в процессе сушки.

Проследили за влиянием: повышения температуры бетонных стенки и дна промковша (вариант №1); уменьшения толщины слоя торкрет-массы (вариант №2);