

6. Зборщик А.М., Куберский С.В., Косолап А.В. Эффективность использования реагентов в современных процессах внепечной десульфурации чавуну. Бюлл. Черная металлургия. – Москва, Черметинформация. – 2011. - № 12. – С. 35-41.
7. Zborshchik, A.M., Kuberskii, S.V., Dovgalyuk, G.Y. et al. Effectiveness of fluidized lime in the desulfurization of hot metal in 300-t casting ladles. Steel Transl. 41, 741–744 (2011). <https://doi.org/10.3103/S096709121109021X>
8. Шевченко А.Ф., Маначин А.И., Двоскин Б.В. и др. Оценка и промышленная проверка показателей процессов ковшевой десульфурации чавуну различными режимами. - Сборник научных трудов «Вестник КГИУ». - 2022. – С. 10-28.
9. Шевченко А.Ф., Маначин И.А., Шевченко А.М. Процессы внепечной десульфурации чавуну. Черные металлы. – 2015. - № 3. - С.9-15.
10. I.A. Manachin, A.F. Shevchenko. Desulfurization of Hot Metal by the Injection of High-Quality Lime Powder. Steel in Translation 48, 517-522, 2018.

УДК 669.162.21.27.012.3

**І. Г. Муравйова, М. Г. Іванча, В. Р. Щербачов, В. І. Вишняков**

Інститут чорної металургії (ІЧМ) ім. З.І. Некрасова НАН України, Дніпро

### **МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ПОЛОЖЕННЯ І ФОРМИ ПЛАСТИЧНОЇ ЗОНИ ДОМЕННОЇ ПЕЧІ З УРАХУВАННЯМ ПОКАЗНИКІВ РОЗПОДІЛУ ТЕМПЕРАТУР ГАЗОВОГО ПОТОКУ ПО РАДІУСУ КОЛОШНИКА**

Ефективність доменної плавки та якість чавуну, який виплавляється, багато в чому, визначаються характеристиками структури стовпа шихтових матеріалів, що формується у процесі завантаження доменної печі. Аналіз результатів, отриманих провідними спеціалістами світу, та особистий досвід досліджень роботи доменних печей показав, що розробка нових науково обґрунтованих способів управління процесом плавки, які забезпечують досягнення високої її ефективності, повинна у максимально можливій мірі враховувати закономірності та особливості формування структури стовпа шихти у доменній печі, одним з найважливіших елементів якої є пластична зона [1 - 3].

Ґрунтуючись на результатах раніше виконаних аналітичних досліджень, а також на накопиченому практичному досвіді запропоновано новий метод визначення параметрів пластичної зони (форми, товщини та положення) у доменній печі, оснащених

засобами вимірювання температури газового потоку над поверхнею засипу (або температури поверхні засипу).

Розроблений метод базується на систематизованій сукупності математичних моделей, у тому числі, розроблених ІЧМ, а також на новому способі визначення ліній розм'якшення та плавлення у доменній печі з використанням інформації про розподіл температури газового потоку над поверхнею засипу шихти (температури поверхні засипу). Основним прийнятим припущенням нового методу є те, що форма лінії плавлення подібна до кривої розподілу температур газового потоку по радіусу колошника.

Запропонований метод передбачає застосування вказаного способу визначення меж пластичної зони та розрахунки характеристик розподілу компонентів шихти в кільцевих зонах печі, складу сформованих сумішей шихтових матеріалів та їх високотемпературних властивостей за допомогою нижчеперелічених математичних моделей та методів:

- комплексної математичної моделі завантаження шихтових матеріалів у доменну піч та розподілу їх на поверхні засипу;
- математичних моделей плавлення та розм'якшення залізовмісних компонентів шихти;
- математичної моделі визначення структури стовпа шихти у сухій зоні доменної печі;
- методу визначення площі поверхні плавлення (запропонований Г.В. Гуденау), удосконаленого шляхом урахування сумарної кількості тепла, що утворюється в нижній частині доменної печі та витрачається на розплавлення залізовмісних матеріалів [4].

Для визначення меж пластичної зони, перш за все, за допомогою вказаних вище математичних моделей розраховуються: площа поверхні плавлення, характеристики розподілу компонентів шихти в кільцевих зонах печі, температури розм'якшення та плавлення сумішей, що утворюються в цих зонах. Отримані в результаті моделювання значення цих параметрів є початковою інформацією для визначення меж пластичної зони в об'ємі печі.

При визначенні координат лінії плавлення за наявності термопар у нижній частині кладки шахти доменної печі положення кореня пластичної зони задається відповідним області знаходження максимального значення температури кладки. Координати точок лінії плавлення (кількість розрахункових точок лінії плавлення відповідає кількості кільцевих зон колошника печі) визначаються, виходячи із обумовленого вище

припущення, що форма лінії плавлення подібна до кривої розподілу температур газового потоку над поверхнею засипу (поверхні засипу). На початковому етапі лінія плавлення відображається у вигляд ламаної, де довжина відрізка у конкретній кільцевій зоні відповідає площі плавлення в цій зоні. У свою чергу, вказана площа визначається в залежності від температури газового потоку в цій зоні та величини рудного навантаження в ній з урахуванням знаку зміни температур газового потоку в суміжних зонах, у напрямку від периферійної зони до осьової. Далі точки згладженої лінії плавлення визначаються, як точки перетину відрізків ламаної з променями, які проведено з точки умовного перетину утворюючої шахти печі з віссю печі до середніх ліній кільцевих зон. В інший спосіб лінія плавлення може бути сформована за допомогою програмних засобів комп'ютерної графіки, виходячи з умов подібності цієї лінії до кривої розподілу температур газового потоку (поверхні засипу) на колошнику печі та рівності площі поверхні обертання лінії, що формується, розрахунковій площі поверхні плавлення.

Визначеним координатам точок лінії плавлення у кільцевих зонах печі відповідають температури плавлення сумішей компонентів шихти, які формуються у цих зонах у результаті процесів завантаження шихтових матеріалів у піч та їх розподілу на поверхні засипу.

У варіанті відсутності термопар кладки шахти у нижній зоні доменної печі для визначення положення лінії плавлення приймається припущення про лінійний характер розподілу температур по висоті печі та температури горнового газу по радіусу на рівні фурм, яка зменшується від температури на фурмах (максимальна величина - теоретична температура горіння) до величини близько 1350 – 1400 °С в осі печі. Визначення положення лінії плавлення в виконується на основі розрахунку розподілу компонентів в зонах печі, температур плавлення їх сумішей з використанням масштабного коефіцієнта:

$$k_i = \frac{(T_{i_{nz}} - T_{i_z})}{(l_{i_{nz}} - h_i)}, \quad (1)$$

де  $k_i$  - масштабний коефіцієнт для  $i$ -ої кільцевої зони, °С/м;  $T_{i_{nz}}$  - температура плавлення суміші залізородних матеріалів в  $i$ -ій кільцевій зоні, °С;  $T_{i_z}$  - температура газу над поверхнею засипу (температура поверхні засипу) в  $i$ -ій точці, °С;  $l_{i_{nz}}$  - вертикальна координата  $i$ -ої точки лінії плавлення, м;  $h_i$  - вертикальна координата  $i$ -ї точки виміру температури газу над поверхнею засипу (температури поверхні засипу), °С.

Положення та форма лінії розм'якшення, у значній мірі, визначаються розподілом залізозмісних компонентів  $i$ , відповідно, розподілом температур зміни їх фазового стану. Лінія розм'якшення може бути визначена, як крива, що з'єднує точки, відповідні температурам початку розм'якшення матеріалів, в кільцевих зонах печі. Координати цих точок розраховуються з використанням масштабного коефіцієнту, що характеризує зміну температур в цих зонах по висоті.

Товщина пластичної у контрольованих зонах печі визначається, як різниця координат відповідних точок ліній плавлення та розм'якшення:

$$\Delta H_{i_{пз}} = \frac{T_{i_{пз}} - T_{i_{п}},}{k_i}, \quad (2)$$

де  $\Delta H_{i_{пз}}$  – товщина пластичної зони у  $i$ -й кільцевій зоні, м;  $T_{i_{пз}}$  – температура плавлення у  $i$ -й кільцевій зоні, °C;  $T_{i_{п}}$  – температура початку розм'якшення у  $i$ -й кільцевій зоні, °C;  $k_i$  – масштабний коефіцієнт для  $i$ -ої кільцевої зони, °C/м.

На рисунку 1 наведено приклад застосування запропонованого методу для розрахунку параметрів і визначення конфігурації пластичної зони доменної печі об'ємом 1700 м<sup>3</sup>.

### Перелік посилань

1. Доменне виробництво Японії в новому столітті, дослідження та технічні розробки // Новини чорної металургії за кордоном. 2007. – №4. - С. 22 - 31.
2. Influence shape of Cohesive Zone на Gas Flow і Permeability в Blast Furnace Analyzed by DEM - CFD Model. Shigeru UEDA, Tatsuya KON, Hiroyuki KUROSAWA, Shungo NATSUI, Tatsuro ARIYAMA та Hiroshi NOGAMI. ISIJ International, Vol. 55 (2015), No. 6, pp. 1232 – 1236.

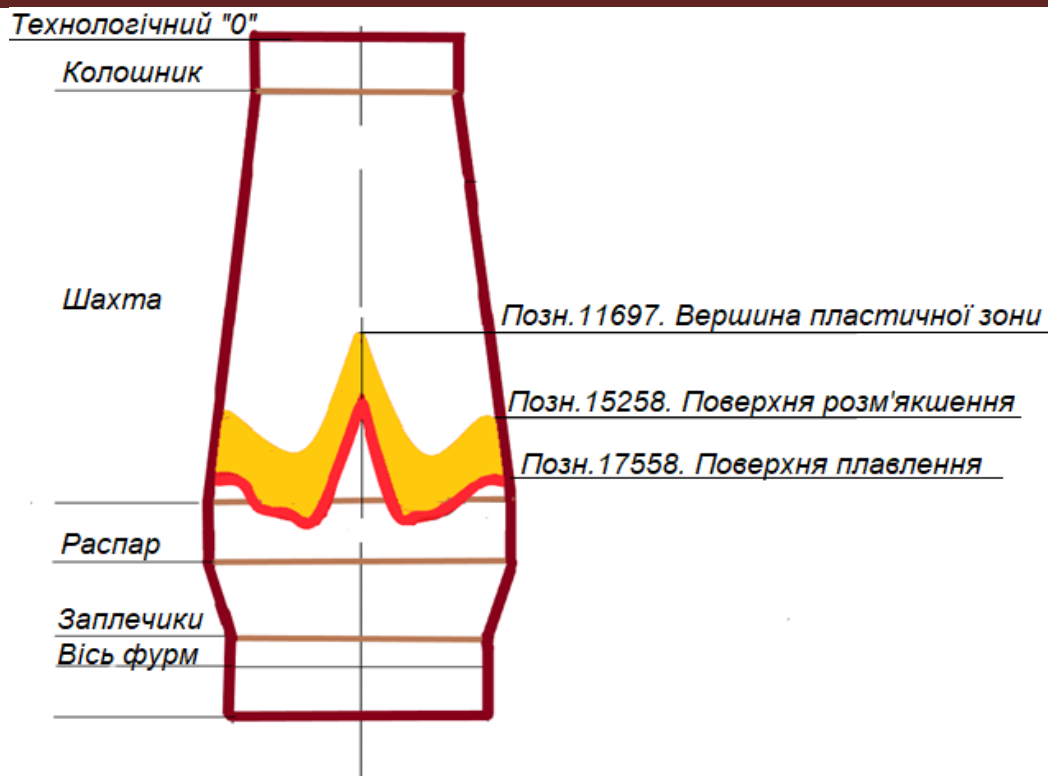


Рис. 1 - Конфігурація пластичної зони доменної печі об'ємом 1700 м<sup>3</sup>, визначена за допомогою запропонованого методу

3. Snigdha Ghosh, Nurni Nilekantan Viswanathan\_and N. Bharath Ballal. Flow Phenomena в Dripping Zone of Blast Furnace - A Review. Steel research int. 87 (2017) No. 9999.

4. Гуденау Г. В. Фізичні умови в галузі пластичної зони доменної печі. Частина 1. Основні принципи моделі / Гуденау Р. У., Стендиш М., Герлах У. – Чорні метали, 1992. – №8. - С. 34 - 41.

УДК 669

**В. І. Мусійко, О. М. Стоянов, Є. В. Синегін**

Український державний університет науки і технологій, Дніпро

### **ОТРИМАННЯ СТАЛІ З НИЗЬКИМ ВМІСТОМ ШКІДЛИВИХ ДОМІШОК**

Дослідження останніх років показали, що дуже великі резерви підвищення якості готової сталі і підвищенні фізико-механічних властивостей криються в області досягнення низького вмісту в ній шкідливих домішок - S, P, N, O, Cu і інших кольорових