

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2021.01.033

МОДЕЛЮВАННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ РОЗПОДІЛУ ЕЛЕМЕНТІВ ШИХТИ МІЖ КІНЦЕВИМИ ПРОДУКТАМИ ДОМЕННОЇ ПЛАВКИ В СУЧАСНИХ УМОВАХ

Тогобицька Д.М., д.т.н., проф., Белькова А.І., к.т.н.,
Степаненко Д.О., к.т.н., Ліхачов Ю.М.

*Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова
Національної академії наук України*

Сучасні умови доменної плавки характеризуються істотними змінами сировинних і енергетичних умов виробництва чавуну, що пов'язано з використанням пиловугільного палива і промислових відходів, що містять шкідливі домішки і лужні сполуки, які суттєво впливають на кінцеві показники плавки та стан роботи печі.

Тому опис процесів агрегатних і фазових перетворень залізородних матеріалів і взаємодії рідких фаз у сучасних умовах плавки являється необхідною передумовою одержання високих техніко-економічних показників та якісного чавуну. Прогнозування процесів розподілу елементів шихти між продуктами плавки дає можливість оперативно оцінювати показники кінцевих розплавів та виконувати на цій основі аналіз технологічної ситуації до завантаження шихти в піч і прийняти рішення щодо зміни шихтових умов, шлакового або теплового режимів плавки.

Відповідно до методики фізико-хімічного моделювання відновлювальної плавки за схемою «Шихта» + «Технологія» = «Продукти плавки» [1, 2] хімічний склад чавуну та кінцевого шлаку розраховується залежно від складу вихідної шихти і параметрів технологічного режиму на основі прогнозних моделей коефіцієнтів розподілу елементів L_E (сірки, кремнію, марганцю і заліза) між продуктами плавки, в яких частки переходу елементів в шлак розглядаються як змінні величини, що залежать від конкретних шихтових ($F_{ш}$) і технологічних умов (F_T): $L_E = f(F_{ш}; F_T)$.

Для сучасних умов роботи однієї з доменних печей України ДП№1, яка працює з використанням пиловугільного палива (119 кг/т чавуну) і природного газу (55 м³/т чавуну) досліджено вплив шихтових і технологічних параметрів плавки на показники кінцевих продуктів плавки. За фактичними даними

показників роботи печі створена вибірка даних, що включає інформацію про витрати і хімічний склад компонентів завантажувальної шихти, відповідних показників технологічного режиму плавки і показниках хімічного складу виплавленого чавуну і шлаку за добу.

Виконані раніше дослідження [2] показали доцільність використання інтегральних показників шихти $K_{ш}$ і температурно-дутьового режиму K_t для прогнозування коефіцієнтів розподілу елементів шихти між продуктами плавки. Інтегральний показник якості доменної шихти $K_{ш}$ включає поєднання співвідношень оксидів шихти і параметрів первинних розплавів, що характеризують агрегатні перетворення і відновлення матеріалів в печі: Fe_{06}/SiO_2 – показник багатства шихти; CaO/SiO_2 – основність шихти; MgO/SiO_2 , Al_2O_3/SiO_2 , R_2O/CaO – магнезійний, глиноземний і лужний модулі шихти; $T_{нф}$, $T_{кт}$ – температури фільтрації через коксову насадку і краплинного просочування первинного шлакового розплаву, °C; $FeO_{пш}$ – зміст FeO у первинному шлаковому розплаві, мас. %; Δe та ρ – хімічний еквівалент та показник стехіометрії шлакоутворюючої частини шихти.

Для оцінки впливу технологічних умов роботи печі використовуються теоретична температура горіння коксу біля фурм T_t , ступінь використання газу η_{co} , довжина фурменої зони $L_{фз}$, а також температурний індекс печі ТІП, який визначається на основі даних температур горіння T_t , колошникового газу $T_{кг}$,

$$\text{чавуну } T_{ч} \text{ і дуття } T_{д}: \text{ ТІП}^* = \frac{2500 - T_t}{T_{кг}} \cdot \frac{1550 - T_{ч}}{1250 - T_{д}} \quad [1].$$

На рис. 1-2 представлені деякі залежності, що відображають найбільший ступінь впливу показників шихти і температурно-дутьового режиму на формування кінцевих продуктів доменної плавки.

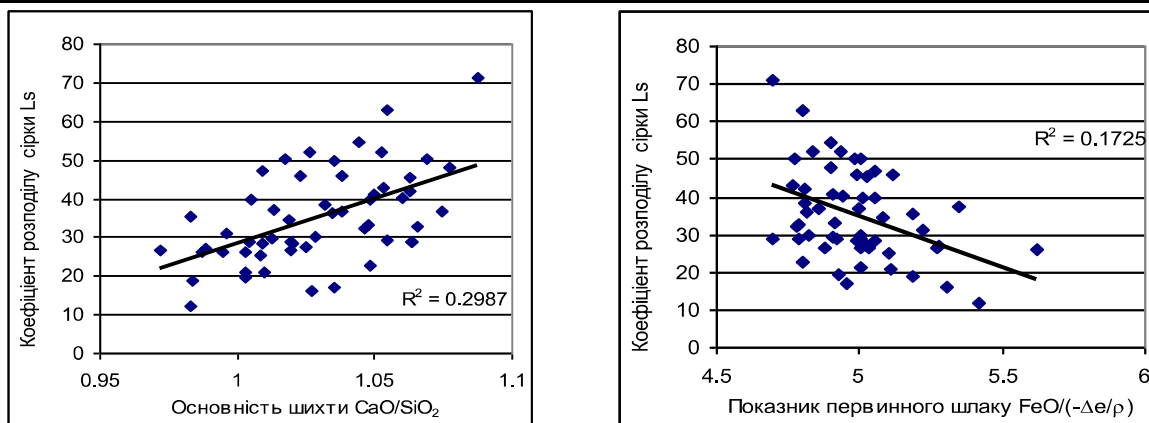


Рисунок 1 - Вплив показників завантажувальної доменної шихти на коефіцієнт розподілу сірки для умов роботи ДП №1

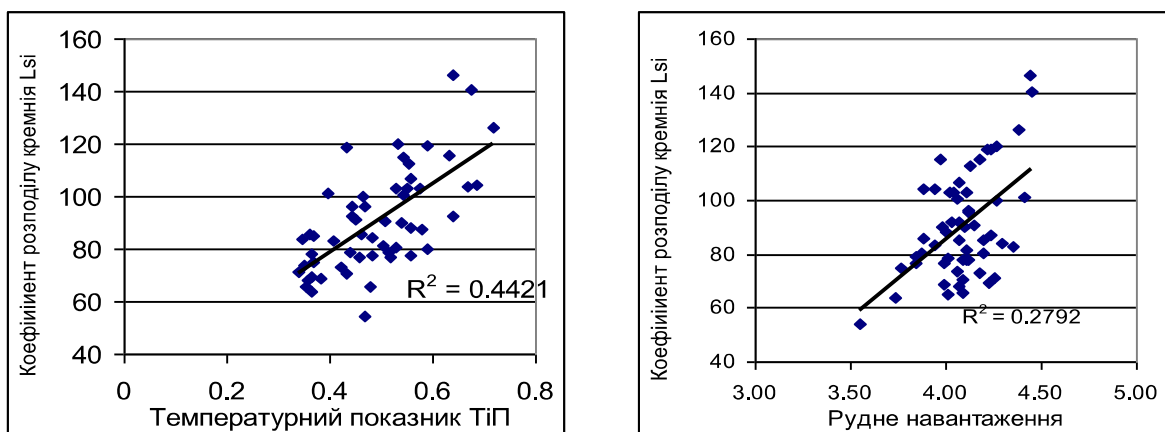


Рисунок 2 - Вплив показників температурно-дутьового режиму на коефіцієнт розподілу кремнію для умов роботи ДП №1

З використанням математичного апарату узагальненої функції бажаності Харрінгтона і на підставі виявлених зв'язків показників шихти з коефіцієнтами розподілу сірки і кремнію між продуктами плавки розроблено аналітичну залежність для інтегрального показника якості шихти Кш:

$$K_{Ш} = \left(\frac{Fe_{об}}{SiO_2}\right)^{0,1} \cdot \left(\frac{CaO}{SiO_2}\right)^{0,22} \cdot \left(\frac{Al_2O_3}{SiO_2}\right)^{0,13} \cdot \left(\frac{MgO}{SiO_2}\right)^{0,1} \cdot \left(\frac{R_2O}{SiO_2}\right)^{0,2} \cdot \left(\frac{T_{КТ}}{T_{нф}}\right)^{0,06} \cdot \left(\frac{FeO_{пш}}{-\Delta e/\rho}\right)^{0,19} \quad (1)$$

Аналогічним підходом отримана аналітична залежність для розрахунку Кт від вищеназваних показників технологічного режиму плавки:

$$K_T = T_{П}^{0,5} \cdot \eta_{CO}^{0,2} \cdot L_{ФЗ}^{0,3} \quad (2)$$

На основі виявлених закономірностей і отриманих оцінок впливу для умов роботи ДП№1 отримано аналітичні залежності для прогнозного розрахунку коефіцієнтів розподілу елементів у вигляді рівнянь:

$$L_s = (P / K)^{0.15} \cdot K_{ш}^{0.5} \cdot K_T^{0.35}; \quad (3)$$

$$L_{si} = (P / K)^{0.33} \cdot K_{ш}^{0.15} \cdot K_T^{0.52}, \quad (4)$$

$$L_{mn} = (P / K)^{0.2} \cdot K_{ш}^{0.35} \cdot K_T^{0.45} \quad (5)$$

де P/K – рудне навантаження.

Частка впливу кожного показника на розподіл елементів шихти виражена у вигляді відповідного ступеня. Зокрема, вміст сірки в чавуні в першу чергу визначається хімічним складом шихти і шлаку, а також тепловим станом печі, що відображено у відповідних значеннях ступеня при показниках $K_{ш}$ і K_T . На вміст кремнію в чавуні в більшій мірі впливає дуттьовий режим: температура і вологість дуття, а також рудне навантаження на кокс і в меншій мірі склад шлаку.

Таким чином, розроблена методика розрахунку коефіцієнтів розподілу елементів шихти між продуктами плавки з використанням інтегральних критеріїв шихти і температурно-дуттьового режиму підтвердила доцільність її використання в сучасних умовах роботи доменних печей України. Так, для умов роботи доменної печі з використанням у шихті вторинної сировини (брикетів, марганцевого концентрату і т.д.), а також заміною частини природного газу пиловугільним паливом отримано аналітичні залежності для розрахунку коефіцієнтів розподілу елементів шихти між чавуном і шлаком. Це забезпечує прогнозний розрахунок хімічного складу чавуну та шлаку при вирішенні завдання обґрунтованого вибору складу шихти в конкретних шихтових і технологічних умовах плавки. Такий підхід до розрахунку складу чавуну та властивостей шлаку залежно від конкретних сировинних і технологічних умов на основі використання комплексних показників шихти й технології відрізняється від відомих підходів, що базуються на коефіцієнтах розподілу, заданих константами.

Література

1. Тогобицкая Д.Н., Выбор состава доменной шихты, обеспечивающего направленное формирование жидких продуктов доменной плавки / Д.Н. Тогобицкая, А.И. Белькова, Д.А. Степаненко // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. Днепропетровск. 2016. № 3. С. 11-18.
2. Togobitskaya D. N. Experience of Using the Integral Indicator of the Domain Charge in Selecting the Basic Mode of the Domain Melt / D. N. Togobitskaya, A.I. Bel'kova, I.G. Murav'eva, D.A. Stepanenko // *Steel in Translation*. -2018. -Vol. 48. -№. 10. -Pp. 652-658.

MODELING OF DISTRIBUTION COEFFICIENTS OF CHARGE ELEMENTS BETWEEN FINISHED PRODUCTS OF BLAST FURNACE SMELTING IN MODERN CONDITIONS

Togobitskaya D.N., Bel'kova A.I., Stepanenko D.A., Likhachev Yu.M.

Abstract. The results of using the developed methodology for predicting the distribution coefficients of the charge elements between the products of blast-furnace smelting based on the calculation of the integral parameters of the charge and the temperature-blowing regime for modern operating conditions of one of the blast furnaces in Ukraine are presented. The proposed approach differs from traditional methods of considering the distribution coefficients of charge elements as constant values and provides a predictive calculation of the chemical composition of cast iron and slag depending on specific charge and technological conditions when solving the problem of a reasonable choice of the composition of the blast furnace charge.

Key words: blast furnace charge, cast iron, slag, sulphur and silicon partition coefficients, forecast model, technological regime parameters.

References

1. Togobitskaya DN, Selection of the composition of the blast-furnace charge, providing directional formation of liquid products of blast-furnace smelting. Togobitskaya, A.I. Bel'kova, D.A. Stepanenko // *Metallurgical and mining industry*. Dnepropetrovsk. - 2016. - No. 3. - S. 11-18.
2. Togobitskaya D. N. Experience of Using the Integral Indicator of the Domain Charge in Selecting the Basic Mode of the Domain Melt / D. N. Togobitskaya, A.I. Bel'kova, I.G. Murav'eva, D.A. Stepanenko // *Steel in Translation*. -2018. -Vol. 48. -№. 10. -Pp. 652-658.