

та освіти. Європейський досвід" (29 листопада, 2022, Дніпро, Україна). Електронне видання. – Дніпро, Журфонд, 2022. –С. 88-99.

6. Відеоролик «Киснево-конвертерний цех – ПАТ «ММК ім. Ілліча» 2010 р. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=98IST5CCzeQ&t=146s> (дата звернення 28.08.2023).

7. Відеоролик «Відділення безперервної розливки сталі ПАТ "АрселорМіттал Кривий Ріг" URL: https://www.youtube.com/watch?v=kvk8HgAW_UY&t=108s (дата звернення 19.11.2022).

8. Khokhlova T., Stupak Y. Personnel development given the specificity of enterprise's business processes / II Int. Conf. "Innovative Technologies in Science and Education. European Experience". (November 12 - 15, 2018, Helsinki, Finland). – Dnipro-Helsinki, 2018. –P. 195-199.

9. Хохлова Т.С., Ступак Ю.О., Савченко Г.Г. Зміст та якість базової освіти як суттєвий чинник якості підготовки фахівців у сучасному технічному закладі вищої освіти. Освітні обрії. №1(50). 2020. – С. 190-200. DOI: <https://doi.org/10.15330/obrii.50.1.190-200>.

10. Ступак Ю.О. Особливості використання навчального відео в умовах дистанційного навчання з використанням сервісу ZOOM (на прикладі дисциплін «Основи металургії» та «Основи обробки металів») / В мат-лах XVII Міжнар. конф. "Стратегія якості в промисловості і освіті" (05 - 08 червня, 2023, Варна, Болгарія). –Дніпро: Журфонд, 2023. – С. 307-313.

11. Освітньо-професійна програма «Металургія» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 136 Металургія: Веб-сторінка Нікопольського факультету УДУНТ. –Дніпро, 2021. URL: <https://nmetau.edu.ua/ua/mfac/i3002/p4402> (дата звернення 30.08.2023).

УДК 669.02/09:669-154:669.17.517В

Д. М. Тогобицька, І. Р. Поворотня, Н. Є. Ходотова

Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАНУ, Дніпро, Україна

КОНЦЕПТУАЛЬНИЙ ПІДХІД ДО ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ ПРОГНОЗУВАННЯ КІНЦЕВИХ ПРОДУКТІВ СТАЛІ ПРИ ЇЇ ПОЗАПІЧНІЙ ОБРОБЦІ НА УКП

Збереження працездатності вітчизняної металургійної промисловості у анормальних умовах (змінна якість сировини та ненормовані її поставки, а іноді і їх відсутність;

нестабільність енергозабезпечення; зменшення чисельності провідних заводів, через військові дії), як економічного фундаменту держави та післявоєнне відновлення потужностей металургійних підприємств є першочерговою задачею науковців - металургів. Термін «якість металу», слід розуміти не лише як числові показники кінцевого металопродукту за хімічним складом, а як синергію усіх переділів з адекватно адаптованими технологічними схема виробництва в основі яких закладені стійкі прогнозні моделі основних властивостей усіх учасників (компонентів) виплавки залізобуглецевих сплавів (метал, чавун, феросплави, шлакоутворюючі суміші, рафінуючі та модифікуючі добавки), які саме і забезпечують одержання відповідного рівня якості згідно з встановленими стандартами.

Особливого значення для спрямованого формування конкурентоздатного продукту має раціональне використання цінних складових металевих розплавів, як спеціальних сталей, сплавів, так і чавунів, що формують матричну систему (металеву основу сплаву), легуючих та мікролеуючих підсистем, які відповідають за створення особливого комплексу фізико – хімічних та механічних властивостей, що дозволить підвищити продуктивність виробництва та одержати затребуваний змовником метал, навіть у вузьких діапазонах зміни хімічного складу.

У зв'язку з цим у роботі поєднано потенціал математичного апарату та інформаційних можливостей баз даних банку даних «Металургія» [1] на засадах концепції спрямованого хімічного зв'язку, яка розроблена Приходько Є.В. [2] задля вирішення проблеми спрямованого формування кінцевих розплавів по схемі «склад-технологія-структура-властивості», де кожна складова ланцюгу узгоджується з відповідною ланкою виробництва. Ідеологія представлення металевих розплавів згідно концепції спрямованого хімічного зв'язку ґрунтується на тезі: «металеві розплави розглядаються єдиною хімічною системою, зміна хімічного складу яких впливає на комплекс фізико-хімічних властивостей з урахуванням параметрів їх електронної структури (Z^Y – параметр зарядового стану системи, e ; d – середньозважена між'ядерна відстань, 10^{-1}нм ; ρ_l – спрямована зарядова щільність, $e/\text{нм}$; $\text{tg}\alpha$ – константа для кожного елемента, яка характеризує градієнт зміни радіусу іона при зміні його заряду)». Тобто металеві розплави не є звичайною механічною сумішшю елементів, а є поєднаними між собою тісними міжатомними зв'язками та виступають єдиним «організмом». Особлива цінність застосування такого підходу полягає у забезпеченні зниження факторного навантаження у ході моделювання за рахунок процедури «згортки» хімічного складу багатоконпонентних систем на основі параметрів міжатомної взаємодії при цьому враховується вклад кожного компоненту розплаву навіть у малих концентраційних долях, що

надає нові можливості щодо пошуку оптимального варіанту виплавки металу, зокрема позапічної обробки сталі на установці «ківш-піч» (УКП).

Трактування розподілу елементів у шлакометалевому розплаві нами базується на вираженні кінцевого вмісту елементів через початкові параметри металургійних розплавів у поєднанні з значимими технологічними параметрами позапічної обробки у конкретних умовах виробництва. Таким чином задача зводиться до реалізації алгоритму визначення коефіцієнтів розподілу кінцевих продуктів плавки, як функції відповідних співвідношень сукупностей властивостей металу, шлаку, добавок та технологічних параметрів: $Le = f(Z^Y, d, \rho_i, \text{tg}\alpha, \Delta e, \rho, T_{\text{пл.ф}}/T_{\text{сталі}}, P_T)$, де Δe – середньостатистичне число електронів, локалізованих на сполучних орбіталях в напрямку зв'язку К-А; ρ – показник стехіометрії оксидної системи, що дорівнює відношенню числа катіонів до числа аніонів; $T_{\text{пл.ф}}/T_{\text{сталі}}$ – співвідношення температури плавлення феросплаву до температури плавлення сталі; P_T – параметр технології для конкретних умов виробництва.

Такий підхід до розподілу елементів у шлакометалевому розплаві дозволив підкреслити важливість виявлених закономірностей та врахувати інформативні технологічні фактори впливу, на відміну від методів, де враховуються тільки балансові співвідношення між початково введеним та кінцевим вмістом добавки. Вказана схема відпрацьована на двох класах сталей різного цільового призначення, а саме підшипникових (ШХ15) та конструкційних (09Г2С), що відповідно виплавлялись у дуговій електросталеплавильній печі та конвертері з подальшим доведенням на УКП в умовах різних вітчизняних заводів [3]. Оцінка ефективності процесу використання добавок проводилась шляхом визначення віддаленості фактичного розподілу їх провідного елемента від лімітуючи рівноважних значень. Одержані в роботі результати є підґрунтям для виробки рекомендацій щодо вибору ефективних добавок та технологічного фактору і інтеграції у АСУТП сталеплавильного виробництва, що забезпечать одержання сталі з затребуваними металоспоживачами показниками.

Список літератури

1. *Тогобицька Д.М.* Банк даних «Металургія» – інформаційна основа прогнозування властивостей фізико-хімічних систем та їх розплавів / Тогобицька Д.М., Степаненко Д.О., Белькова А.І., Петров О.П., Ліхачов Ю.М. // Сучасні проблеми металургії. – 2021. – № 24. – С.140 – 148.
2. *Приходько Э.В.* Металлохимия многокомпонентных систем. – М.: Металлургия. – 1995. – 320 с.

3. Снігура І.Р. Фізико-хімічні передумови для розробки комплексних співвідношень властивостей металургійних розплавів з метою прогнозування закономірностей розподілу елементів при доведенні на УКП / І.Р.Снігура, Д.М. Тогобицька, В.П. Піптюк, С.В. Греков, О.П. Петров // Сб.н.пр. ІЧМ «Фундаментальні і прикладні проблеми чорної металургії». – Дніпро. – 2020. – Вип.34. – С.150 – 158.

УДК 669.18.046

Д. М. Тогобицька, А. І. Белькова, С.В. Греков, Н.Є. Ходотова

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

ФІЗИКО-ХІМІЧНІ КРИТЕРІЇ ДЛЯ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ДЕФОСФОРАЦІЇ СТАЛІ ЗА СУЧАСНИХ УМОВ УКРАЇНИ

У сучасній металургії ефективність дефосфорації сталі є одним з найважливіших факторів, що визначають якість і придатність одержуваних сталевих виробів. В процесі виробництва сталі, особливо при використанні сировини з підвищеним вмістом фосфору, концентрація цього елемента може перевищувати допустимі межі, що потребує додаткових зусиль щодо його видалення. Для зниження вмісту фосфору до прийняттого рівня застосовуються різні технології дефосфорації з використанням флюсів, присадок та термічних методів. Завдяки цьому одержувана сталь має оптимальні властивості для широкого спектру застосувань у різних галузях промисловості. У зв'язку з цим оцінка ступеня завершеності процесу дефосфорації з метою прийняття ефективних технологічних рішень є актуальним та необхідним засобом при управлінні.

У цій роботі запропоновано метод оцінки ефективності процесу дефосфорації сталі в сучасних умовах України. Для аналізу використано методику розрахунку параметрів теорії спрямованого хімічного зв'язку, що описують склад та структуру металевого та шлакового розплавів на рівні міжатомної взаємодії [1].

Виконані раніше дослідження показали, що розподіл фосфору при проведенні рафінування рідкого металу визначається двома групами факторів: інтегральними характеристиками взаємодіючих фаз і зарядовим станом дифузного елемента. Для характеристики зарядового стану фосфору використовуються його середній заряд та інтегральні характеристики - параметр Z^Y для металу і параметри De і r для шлакової фази. Кількісні співвідношення, що пов'язують ці параметри з характеристиками між-