делі та проведено чисельний експеримент з їх використанням. Встановлено раціональні параметри операції роздування шлакової ванни з використанням двоярусної фурми за принципом перенаправлення частини зворотного газошлакового потоку у визначені «проблемні» зони на стінах конвертера.

Визначено напрямки подальшого удосконалення конструкції двоярусної гарнісажної фурми.

ЛІТЕРАТУРА

1. Сигарев Е.Н. Модернизация гарнисажной фурмы для ошлакования футеровки / Е.Н.Сигарев, Н.Н.Недбайло, Р.В.Борщевский // Збірник наукових праць Дніпродзержинського технічного університету: (технічні науки). – Дніпродзержинськ: ДДТУ. – 2014. – Вип.1(24). – С.7-13.
2. New system for Applying a slag Coating to the converter lining / A.G.Chernyatevich, E.N.Sigarev, I.V.Chernyatevich [and el.] // Steel in Translation. – 2017. – Vol. 47, № 6. – P.394-398.
3. Топографирование поверхности футеровки конвертера / Е.Н.Сигарев, Н.К.Сигарев, Д.А.Семенова, Ю.В.Байдуж // Збірник наукових праць Дніпродзержинського технічного університету: (технічні науки). – Дніпродзержинськ: ДДТУ. – 2015. – Вип. 1(26). – С.19-24.
4. Определение параметров раздувки шлаковой ванны на футеровку конвертера / Е.Н.Сигарев, К.Г.Низяев, Н.К.Сигарев [и др.] // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2016. – №3. – С.31-36.
5. Дослідження гідрогазодинамічних закономірностей нанесення шлакового гарнісажу на футерівку конвертера комбінованого дуття / Сігарьов Є.М., Чернятевич А.Г., Недбайло М.М., Чернятевич І.В. // Теория и практика металлургии. – 2015. – № 1,2 (102-103). – С.204-206.

Надійшла до редколегії 21.05.2018.

УДК 669.162

DOI 10.31319/2519-2884.32.2018.161

ЛЕБІДЬ Ю.К., інженер-технолог 1 категорії
КРЯЧКО Г.Ю.*, к.т.н., доцент

ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат»
*Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

ВПЛИВ ВМІСТУ ОБКОТИШІВ В ШИХТІ НА РОБОТУ ДОМЕННОЇ ПЕЧІ ТА ВИТРАТУ ПИЛОВУГІЛЬНОГО ПАЛИВА

Вступ. Дефіцит відомих [1] компенсаційних ресурсів для створення умов для вдування підвищених кількостей пиловугільного палива (ПВП) в горн доменних печей України змушує шукати інші, доступні способи впливу на витрату ПВП. Один з таких способів запропоновано в роботі [2]. Суть способу полягає в тому, що для збільшення витрати ПВП пропонується підвищувати прихід FeO з компонентами шихти. Технологічний прийом використання залізорудних матеріалів з підвищеним вмістом FeO повинен, на думку авторів [2], виконуватися при появі ознак, що підтверджують необхідність обмеження подачі ПВП. До таких ознак віднесені, перш за все, погіршення якості коксу і залізорудної сировини, збільшення виходу шлаку, захаращення горна і інші

розлади ходу плавки. Застосування високозакисного агломерату для промивання горна при вказаних порушеннях його роботи практикувалося і раніше [3].

Протилежний підхід до вибору раціонального вмісту FeO в агломераті спостерігається в Японії, Південній Кореї та ряді інших країн. Перевага віддається виробництву і застосуванню агломерату зі зниженим вмістом FeO в агломераті, що має меншу оплавленість, більш високу міцність, кращу пористість і відновлюваність. Проте один з лідерів за обсягом вдування ПВП нідерландська фірма Ijmuiden використовує агломерат з підвищеним вмістом FeO, за даними [4], до 15%. Особливістю сировинних умов роботи доменних печей фірми є велика витрата обкотишів – > 50%. Ймовірно обрана в Нідерландах комбінація якісно різних видів доменної шихти має значення для підвищення витрати пиловугільного палива.

Постановка задачі. З метою відпрацювання технології плавки з вдуванням підвищеної кількості ПВП дослідити вплив вмісту обкотишів в шихті (ВОШ) на роботу печі і витрату вугільного пилу зокрема.

Результати роботи. Доменна піч А Дніпровського металургійного комбінату об'ємом 1500 м^3 в період досліджень працювала на коксі з імпортного вугілля із середніми показниками: сірка 0,54%; зола 11,5%; індекс CSR 54,5%. В якості пиловугільного палива використовувалася суміш з середніми показниками за сіркою 0,26%, золою 7,6% і леткими речовинами 21,2%. Вміст заліза в агломераті склав 53,2%, в обкотишах ПівнГЗК – 63,2%. Тривалість одиничного періоду – календарна доба. Масив вибірки без розривів (за винятком діб з простоями) склав 158 діб (спостережень). Показники роботи печі в досліджуваному періоді представлені в табл.1.

Таблиця 1 – Техніко-економічні показники роботи доменної печі А ПАТ «ДМК» на шихті, що містить обкотиші

Техніко-економічні показники	Значення показників
1	2
Продуктивність, т/м^2·добу	54,1
Витрата, кг/т чавуну:	
- коксу	403
- ПВП	157
- вапняку	10
Доля в шихті, %:	
- агломерату	84,1
- обкотишів	15,8
Інтенсивність горіння коксу, кг/м^3·добу	804
Рудне навантаження, т/т	4,29
Дуття:	
- витрата, м^3/хв	2915
- вміст кисню, %	25,2
- надмірний тиск, кПа	253
- температура, °С	1017
Колошниковий газ:	
- надмірний тиск, кПа	130
- температура, °С	340
- склад, %:	
- CO_2	17,9
- CO	27,3
- H_2	3,7
Перепад тисків, кПа	123

Продовження таблиці 1

1	2
Ступінь використання CO, %	39,6
Склад чавуну, %: - Si - Mn - S	 0,72 0,08 0,025
Основність шлаку: - CaO/SiO_2 - $(CaO+MgO)/SiO_2$	 1,09 1,21

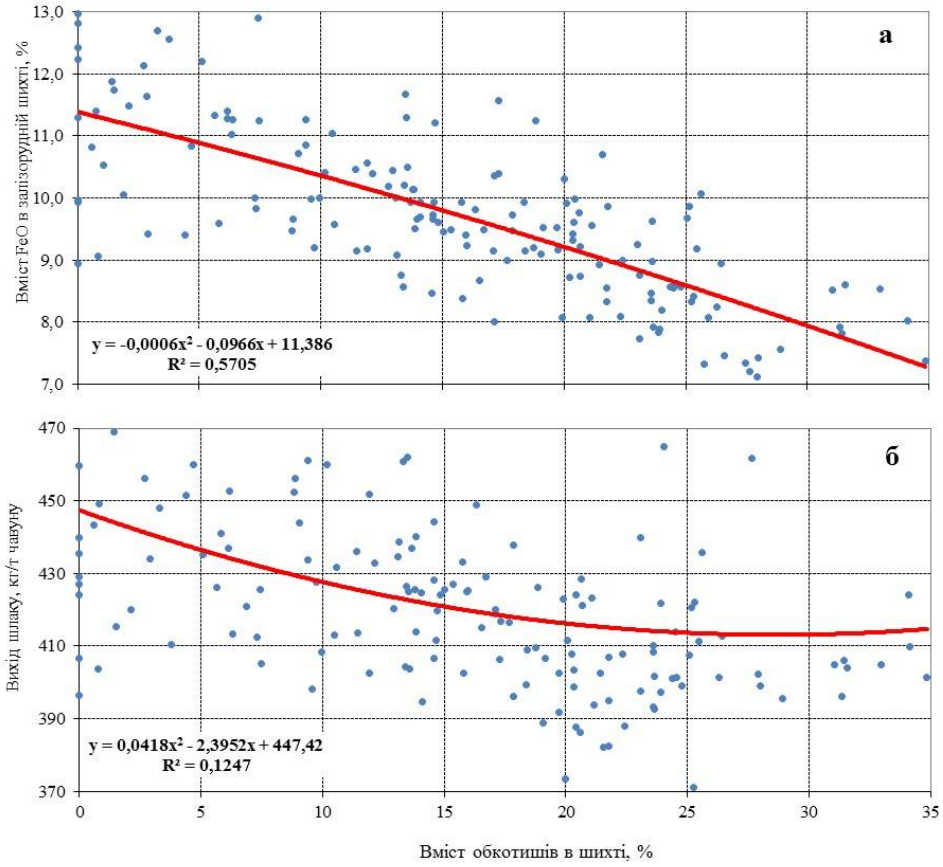

Рисунок 1 – Вплив вмісту обкотишів в шихті на вміст монооксиду заліза в шихті (а) і вихід шлаку (б)

Перш за все було зроблено оцінку впливу ВОШ на прихід в піч монооксиду заліза з шихтою. Оскільки оксиди заліза в обкотишах представлені, в основному, гематитом, то збільшення ВОШ в загальній масі залізорудної частини шихти до 35% супроводжувалося зниженням вмісту FeO в середньому на 4% (рис.1, а). Представляє інтерес те, що на виході існувала тенденція зниження вмісту FeO в шлаку в міру збільшення ВОШ (FeOш = -0,000005 (ВОШ)^2 -0,0024 (ВОШ) + 0,5491). Правда зв'язок між змінними за шкалою Чеддока виявився дуже слабким (R = 0,155).

Як помірний можна кваліфікувати зв'язок між ВОШ та виходом шлаку (рис.1, б). Проте в конкретних шихтових умовах збільшення ВОШ до 20% призводило до істотно-

го скорочення виходу шлаку – в середньому на 15 кг/т чавуну на кожні додаткові 10% обкотишів в шихті. По всій видимості це той же компенсаційний ресурс при вдуванні вугільного пилу, оскільки поліпшення дренажу розплавів і газів тісно пов'язане зі зменшенням кількості шлаків в коксової насадці. Крім того, зменшення виходу шлаку покращує умови газифікації ПВП у фурмовій зоні.

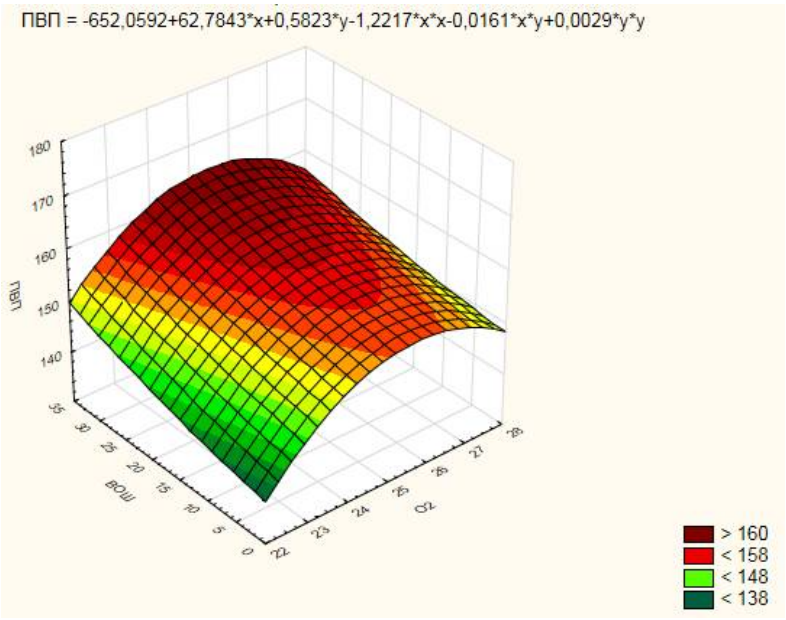

Рисунок 2 – Тривимірні графіки поверхонь для залежностей витрати пиловугільного палива (ПВП, кг/т чавуну) від вмісту кисню в дутті (x – O_2, %) та обкотишів в шихті (y – ВОШ, %)

Розгляд впливу ВОШ разом з концентрацією кисню в дутті – головним компенсаційним ресурсом для застосування ПВП – показав наступне (рис.2). Збільшення ВОШ при всіх концентраціях кисню супроводжувалось зростанням витрати ПВП. Поява екстремуму на кривих залежності витрати ПВП від концентрації кисню в дутті потребує додаткового вивчення. Можливо, що збагачення дуття киснем зверх 25-26% призводить до дефіциту тепла і відновників в шахті, зрозуміло в конкретних сировинних умовах.

До негативних наслідків застосування низькоосновних обкотишів в шихті відносять високий вихід спеків, який зумовлює зростання опору газового потоку [5], потовщення пластичної зони, що підсилює також газодинамічну напруженість в стовпі шихти [6], завантаження центру окатишами [7]. В нашому дослідженні також спостерігалося погіршення газопроникності стовпа шихти при ВОШ до 20%. Так індекс ΔP/Qд, кПа/м^3/хв., зріс з 0,040 при роботі на агломераті до 0,043 при роботі з 20-відсотковою часткою обкотишів в шихті. Залежність між ВОШ та індексом газопроникності характеризувалася помірною величиною R = 0,368.

Для перевірки впливу обкотишів на газовий потік в досліджуваній доменної печі розглянули залежності температур колошнику $t_к$, периферії $t_п$ і співвідношення цих температур від вмісту обкотишів в шихті. Співвідношення температур $t_п/t_к$ свого часу було запропоновано співробітниками ВНДІМТ як критерій оцінки радіального газорозподілу.

Як вельми помітний зв'язок можна кваліфікувати дані аналізу залежності температури колошнику від величини ВОШ (рис.3, а).

Зменшення температури колошникових газів слід пояснити впливом двох факторів – завантаженням холодних обкотишів (місцевий агломерат завантажувався в піч гарячим) і безпосереднім впливом обкотишів на процес в цілому.

Температура периферійних газів (рис.3, б) є більш «консервативним» показником інерційності процесу вимірювання. Тому зв'язок між змінними спостерігається

дуже слабкий (R = 0,191). Проте простежується тенденція зростання температури периферії в міру збільшення витрати обкотишів в шихті.

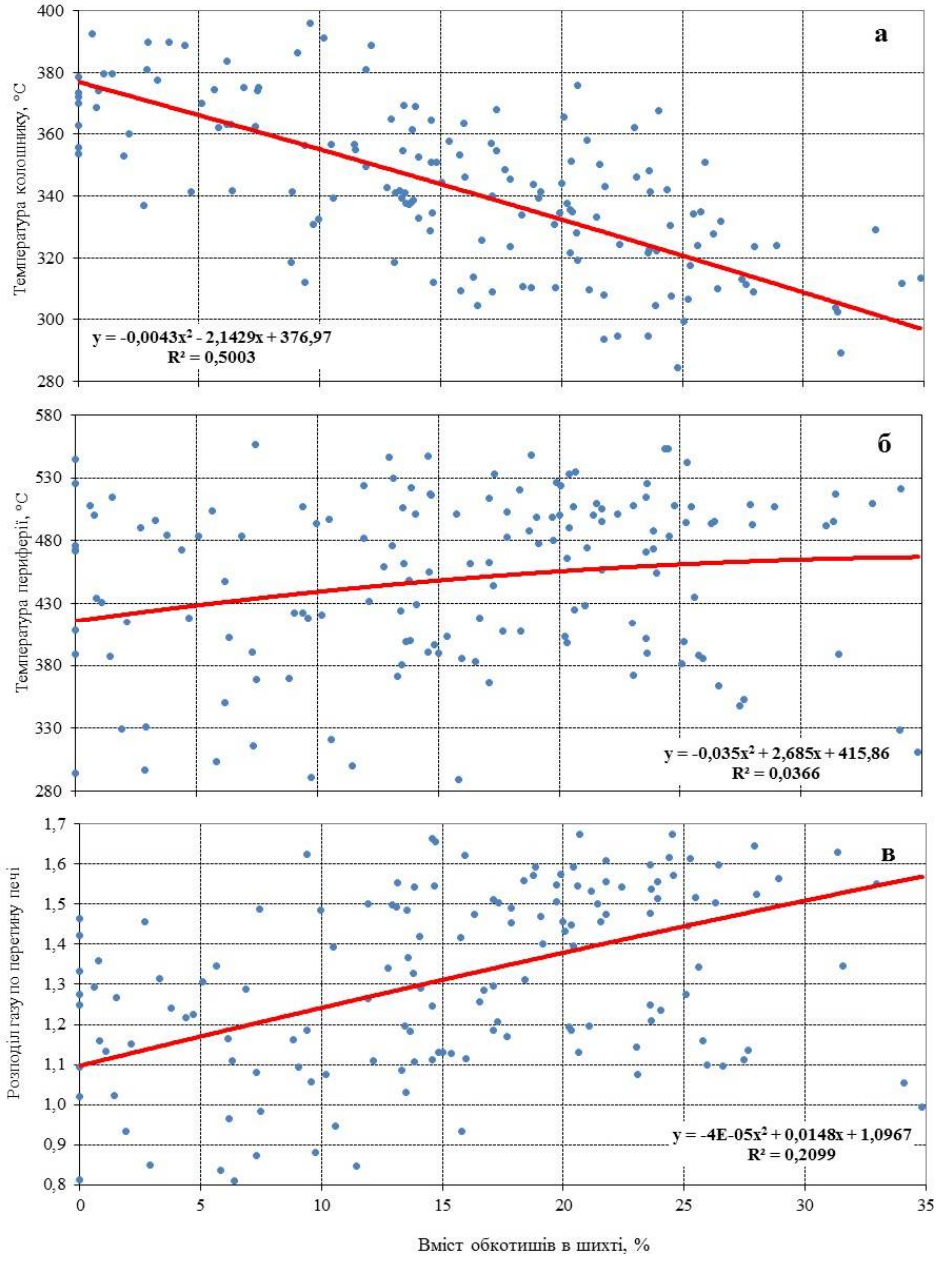

Рисунок 3 – Вплив вмісту обкотишів в шихті на середні температури колошнику $t_к$ (а), периферії $t_п$ (б) та розподіл газу по перетину печі $t_п/t_к$ (в)

Результати аналізу, наведені на рис.3, в, вказують на помірний зв'язок (R = 0,458) між змінними. Однак підстав заперечувати факт посилення периферійного потоку газів при збільшенні частки обкотишів немає. Отримані дані кореспондуються з результатами роботи [6], в якій повідомлялося про розкриття периферії при збільшенні ВОШ. Відмінність полягала в тому, що на печі [6] використовувалось БЗП, тому поряд з розкриттям периферії розкривався і центр. Само по собі розкриття периферії, обумовлене специфікою розподілу обкотишів на колошнику, може сприяти підвищенню витрати ПВП, однак за умови достатньої газопроникності центру. Не випадково на до-

менній печі №3 заводу «Kobe Steel» при збільшенні частки залізорудних обкотишів в шихті з 26 до 75% збільшили завантаження коксу в центр [7, 8].

Таким чином для ефективного використання обкотишів як більш багатої залізом сировини, ніж агломерат, слід розвантажувати центральну зону печі подаванням коксу в центр, якщо піч оснащена безконусним засипним пристроєм, або змінювати відповідно режим завантаження конусним пристроєм.

Висновки. Введення в залізорудну частину доменної шихти низькоофлюсованих обкотишів в межах, що збільшують збагачення шихти залізом і знижують вихід шлаку, сприяє збільшенню витрати пиловугільного палива. В даному випадку «прихованим» компенсаційним ресурсом є зниження виходу шлаку, яке полегшує умови газифікації вугільного пилу у фурмовій зоні і покращує стан коксової насадки.

Збільшення частки обкотишів в залізорудній частині шихти до 35% супроводжувалося посиленням периферійного газового потоку, що знижує ефективність використання обкотишів як різновиду залізорудних матеріалів з підвищеним вмістом заліза. При збільшенні вмісту обкотишів в шихті доцільно використовувати заходи для покращення газопроникності центральної частини печі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ярошевский С.Л. Пылеугольное топливо – реальная и эффективная альтернатива природному газу в металлургии / С.Л.Ярошевский // Металл и литье Украины. – 2006. – № 3. – С.15-20.
2. Влияние компенсирующего ресурса увеличения содержания FeO в шихте при вдувании пылеугольного топлива в горн доменной печи / В.Н.Захарченко, Ю.Р.Руденко, Н.Р.Руденко, Ю.К.Лебедь // Металл и литье Украины. – 2017. – № 2-3. – С.3-8.
3. Промывка горна доменных печей высокозакисным агломератом / В.И.Тимошенко, В.И.Кучеров, Б.Д.Осипов [и др.] // Сталь. – 1989. – № 2. – С.11-14.
4. Ярошевский С.Л. Перспективы и эффективность применения пылеугольного топлива в доменных печах Украины / С.Л.Ярошевский // Бюллетень «Черная металлургия». – 2011. – № 4. – С.29-35.
5. Отработка технологии доменной плавки с использованием в шихте окатышей пониженной основности / Л.Д.Никитин, В.А.Долинский, Ю.М.Денисов [и др.] // Металлург. – 2003. – № 9. – С.30-32.
6. Контроль и оптимизация параметров зоны плавления с помощью двухмерной математической модели в составе АСУ ТП доменной печи / В.М.Паршаков, А.А.Полинов, А.В.Павлов [и др.] // Металлург. – 2017. – № 7. – С.30-36.
7. Shift All Pellets Operation at Kobe 3 Biast Fumace / T.Ohyama, S.Kitayama, M.Okuichi et al. // CAMP-ISIJ. – 2002.15. – № 1. – С.129. – Яп. Зм. на англ.
8. Burden distribution control for radius concentration of pellets by time series dischargins / A.Sato, Y.Matsul, K.Ito et al. // CAMP-ISIJ. – 2002.15. – № 1. – С.130. – Яп. Зм. на англ.

Надійшла до редколегії 23.04.2018.