

УДК 669.18 (075.8)

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ КОНВЕРТЕРНОГО ПРОЦЕСУ ПРИ ЗАМІНІ ПЛАВИКОВОГО ШПАТУ НА СТАВРОЛІТОВІ БРИКЕТИ

В.С.Богусевський, С.В.Жук, Я.Д.Чернушевич, Х.І. Зайцева

*Національний технічний університет України
„Київський політехнічний інститут”*

Досліджено вплив на процес шлакоутворення ванни кисневого конвертера введення Ставролітових брикетів. Зроблено порівняльний аналіз використання плавикового шпату і Ставролітових брикетів.

Исследовано влияние на процесс шлакообразования ванны кислородного конвертера ввода Ставролитовых брикетов. Выполнен сравнительный анализ использования плавикового шпата и Ставролитовых брикетов.

The effect on the formation of the slag bath BOF input staurolite briquettes. A comparative analysis of the use of fluorspar and staurolite briquettes.

Вступ

Серед складових технології конвертерної плавки – зневуглецювання ванни, температурний режим, шлакоутворення – остання є найважливішою. Вона визначає процес знесіркування, дефосфорації, істотно впливає на стійкість футерівки, виноси і викиди металу. Основною метою шлакоутворення є одержання до кінця плавки шлаків, насичених вапном із достатньою рідкотекучістю. За звичайних умов практики киснево-конвертерного процесу шлакоутворення часто здійснюється з недостатньою швидкістю, що призводить до неповного засвоєння вапна шлаком (60 – 90 %) і затягування процесів видалення шкідливих домішок. Для прискорення процесу шлакоутворення в ванну вводять добавки, що підвищують реакційну здатність шлаку. Найбільш сильним і розповсюдженим розріджувачем у киснево-конвертерному виробництві є плавиковий шпат (CaF_2) – навіть за невеликих його добавок (2 – 3 кг/т сталі різко зростає реакційна здатність шлаку. При цьому не знижується вміст оксиду кальцію в шлаку, оскільки CaF_2 містить іон Ca^{2+} [1, 2]. У якості замінників CaF_2 використовують уртит, що містить, %: 39,6 – 46,0 SiO_2 , 17,1 – 28,7 Al_2O_3 , 4,3 – 12,5 Fe_2O_3 , 7,4 – 14,4 CaO , 0,08 – 0,14 S, 0,52 –

0,96 P₂O₅, 8,3 – 17,3 (Na₂O + K₂O), 0,6 – 1,9 H₂O. Температура плавлення уртіту знаходиться в інтервалі 1255 – 1375 °С. Як замітники CaF₂ можуть розглядатися такі природні мінерали, як флюоритизований вапняк (36 – 40 % CaO, 12 – 13 % SiO₂, 11,5 – 12,5 % CaF₂, 22 – 24 % інше) і флюоритова руда, що містить 25 % CaF₂. У зв'язку з дефіцитністю CaF₂ проводяться роботи по пошуку його заміників. Так, співробітниками підприємства „АрселорМіттал Кривий Ріг” проведено дослідження по використанню Ставролітових брикетів (СБ) як матеріалу для шлакоутворення.

Наведені в статті дослідження проводились в Національному технічному університеті України „КПІ” по темі „Математичні моделі й алгоритми системи управління кисневим конвертером” державний реєстраційний номер 0110U002880.

Постановка задачі

Метою досліджень є аналіз доцільності використання замість плавикового шпату СБ як матеріалу для шлакоутворення.

Методика проведення експерименту

Дослідження проведені на 160-тонних конвертерах на порівняльних плавках, що проводилися одночасно, відповідно з використанням CaF₂ (конвертери № 1, 2, 3) в середньому в кількості 2,7 кг/т і СБ (конвертери № 4, 5, 6) в середньому – 3,4 кг/т. Чавун характеризувався наступними середніми даними – хімічний склад, %: 0,84 Si, 0,40 Mn, 0,027 S; температура 1310 °С. Вміст елементів в металі на першій повалці, %: вуглецю 0,18 %, мангану 0,10, сірки 0,027; температура 1595 °С. Хімічний склад CaF₂ і СБ наведено в таблиці 1.

Таблиця 1. Хімічний склад шлакоутворювачів, %

Матеріал	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	CaF ₂	H ₂ O	S	Інші
CaF ₂	4,44	12,08	–	–	55,63	4,65	0,14	23,06
СБ	26,44	5,50	42,0	2,60	–	1,38	н.в.	22,08

Примітка: „н.в.” – не визначалось

Результати досліджень

В процесі шлакоутворення найбільше значення мають три обставини:

1) характер зміни температури плавлення розплаву у зв'язку із зміною його хімічного складу в процесі шлакоутворення;

2) умови змочування твердих шматків шлакоутворюючих матеріалів, первинними шлаками, що також залежать від зміни хімічного складу шлаку, що утворюється;

3) інтенсивності теплоспоживлення області, де проходить шлакоутворення.

Рухливість шлаку і його агресивність по відношенню до вапна тим вище, чим вище перегрів шлаку над точкою його плавлення. Як правило, температура плавлення розплаву підвищується в процесі збагачення його окисами з високою температурою плавлення (CaO і MgO).

Прискорення шлакоутворення забезпечує швидкий перевід сірки і фосфору в шлак і тому вельми бажане.

Вочевидь, асиміляція твердих часток шлакоутворюючих матеріалів може успішно здійснюватися, якщо зовнішні шари цих часток, поступово стають все більш і більш легкоплавкими.

Змочуваність твердих часток або, як це прийнято говорити, адгезія шлаку до твердих часток залежить від кута змочування. Чим цей кут менший, тим краща змочуваність. В таблиці 2 наведена залежність останньої від хімічного складу шлаку [3].

Таблиця 2. Величина кута змочування φ твердої частинки шлаками різного хімічного складу з температурою плавлення $t_{пл}$

Хімічний склад шлаку						$t_{пл}, ^\circ\text{C}$	φ , град
CaO	SiO ₂	FeO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO		
40	32	28	—	—	—	1320	30
24,1	11,1	41,8	12,8	7,9	2,3	1470	4
28,4	12,4	39,2	4,4	11,6	4,0	1450	7
43,8	20,1	12,6	1,8	16,4	5,3	1450	12
44,0	18,0	15,1	3,0	13,6	6,0	1450	12
44,9	19,6	11,6	1,8	15,9	5,7	1460	14

Як видно із таблиці Al₂O₃ значно підвищує змочуваність вапняно-сіліцієво-залізистих шлаків в широкому діапазоні основності, але одночасно з цим підвищується температура плавлення шлаку. Тому введення шлакоутворювачів, у складі яких знаходиться Al₂O₃, повинно прискорювати процеси шлакоутворення.

CaF₂ є добрим розріджувачем вапняно-сіліцієвих шлаків. Але це не спостерігається для вапняно-магнезіально-сіліцієвих шлаків, в яких вміст магнію перевищує 5 %. Практика показує, що введення плавикового шпату різко інтенсифікує окислювальні процеси. Це зв'язано з тим, що не тільки зменшується в'язкість шлаку, а також і тому, що збільшується активність FeO при такому ж його вмісті [4].

Найбільш важливим моментом при заміні CaF_2 на СБ є дослідження зміни основності кінцевого шлаку. Дослідження, що проведені співробітниками підприємства „АрселорМіттал Кривий Ріг” показали, що основність кінцевого шлаку при заміні CaF_2 на СБ майже не змінюється (середні значення 3,32 і 3,29 одиниць відповідно), більш того, покращився розподіл значень основності в оптимальному діапазоні 2,8 – 3,5 одиниць (75,4 і 83,8 % відповідно) і зменшилися плавки з основністю більше 3,6 одиниць (24,2 і 15,7 % відповідно). Враховуючі, що у склад СБ входять кислотний (SiO_2) і амфотерний (Al_2O_3) окисень, який у основних шлаках також відноситься до кислотних, відповідно в кількостях 26,44 і 42,0 %, основність кінцевого шлаку повинна знижуватись. Відсутність цього свідчить про те, що на плавках поточного виробництва, велика кількість вапна не засвоюється шлаком. Це вимагає зміни технології введення вапна і продування й що, дуже важливо, застосування зворотного зв'язку для регулювання процесу шлакоутворення шляхом хімічного аналізу шлаку на кожну плавку з обов'язковим визначенням його основності. Про поганий стан шлакоутворення свідчить низьке видалення сірки в процесі продування – вміст сірки в металі на першій повалці сумірний з її вмістом в чавуні.

Шлаки з використанням СБ виявилися більш густими, про що свідчить збільшення тривалості простою конвертера для обрізки настилу зі ствола кисневої фурми (тривалість цієї операції становить 1,47 і 1,89 % тривалості плавки відповідно на плавках з CaF_2 і СБ) й стан шлаку по закінченню продування (табл. 3) (дані з досліджень співробітників підприємства „АрселорМіттал Кривий Ріг”).

Таблиця 3. Стан кінцевого шлаку*

Плавки	Кількість, шт	Нормальний шлак		Густий шлак	
		випадків	%	випадків	%
дослідні	1390	1070	77,0	320	23,0
порівняльні	704	574	81,5	130	18,5

*Стан кінцевого шлаку визначався якісно в залежності від присутності операції „роздування шлаку” перед взяттям проби.

Стан футерівки при використанні СБ у порівнянні з CaF_2 погіршився. Це співпадає з дослідженнями, що наведені в [5] при заміні бокситу з великим вмістом (Al_2O_3) на плавиковий шпат. Можна прийняти думку авторів цієї роботи, що боксит у порівнянні зі плавиковим шпатом має ряд недоліків, що основність шлаку на плавках з бокситом збільшується повільніше, а стійкість футерівки стає нижчою (табл. 4).

Таблиця 4. Стійкість футерівки конвертера при використанні бокситу й плавикового шпату

Показник	Роки з моменту досліджень використання						
	1	2	3	4	5	6	7
Витрата, кг/т:							
бокситу	8,0	6,8	–	–	–	–	–
CaF ₂	–	–	1,8	2,0	2,0	3,0	2,0
Стійкість футерівки, %	100,0	104,4	151,0	144,0	129,3	128,3	129,7
Витрата вогнетривів, кг/т	16,0	13,0	13,0	12,0	12,0	11,65	10,8

Більш енергійну асиміляцію вапна шлаком при використанні CaF₂ можна пояснити: різким зниженням температури плавлення сплавів CaO-CaF₂ при підвищенні концентрації CaF₂; різким підвищенням активності окиснів заліза при однаковій концентрації, але хоча б при невеликій концентрації CaF₂ (0,5 – 2 %).

Проникнення ж кремнезему і глинозему у вапно ускладнюється великими розмірами іонів, що утворюються при цьому: Al₂⁻, Al₃O₇⁵⁻, SiO₄⁴⁻ ($R = 2,79 \text{ \AA}$), проти $R_{\text{Fe}^{2+}} = 0,83 \text{ \AA}$, $R_{\text{Fe}^{3+}} = 0,67 \text{ \AA}$, $R_{\text{O}^{2-}} = 1,32 \text{ \AA}$.

Висновки

1. Використання Ставролітових брикетів поліпшує шлакоутворення у ванні конвертера в процесі продування.
2. Шлакоутворюючі властивості плавикового шпату кращі ніж властивості Ставролітових брикетів.
3. Ставролітові брикети доцільно використовувати тільки у випадку відсутності плавикового шпату.
4. Для визначення оптимальної кількості шлакоутворюючих матеріалів на кожну плавку необхідно використовувати як зворотний зв'язок по процесу шлакоутворення хімічний аналіз шлаку, зокрема основність, після першої

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. Бойченко Б.М., Охотський В.Б., Харлашин П.С.: Підручник / Конвертерне виробництво сталі (теорія, технологія, якість сталі, конструкція агрегатів, рециркуляція матеріалів і екологія). – Дніпропетровськ: РВА „Дніпро-ВАЛ”, 2004. – 454 с.
3. Явойский В.И. Теория процессов производства стали. Металургия, 1967. – 792 с.
4. Математическая модель АСУ конвертерной плавкой / В.С.Богушевский, Ю.В.Оробцев, Н.А.Рюмшин, Н.А.Сорокин. – К.: НПК „Киевский институт автоматики”, 1996. – 212 с.
5. Попель С.И., Павлов В.В. Поверхностные явления в процессах окисления примесей сталеплавильной ванны //ЖВХО им. Д.И.Менделеева. – 1971. – Т. XVI. № 5. – С. 523 – 528.