

Для даного ланцюга апаратів розроблено методику розрахунку агломераційної шихти, матеріального і теплового балансів. При виконанні розрахунків для всіх компонентів, що входять до складу агломераційної шихти, визначають повний хімічний склад.

Згідно з розробленою методикою розрахунку агломераційної шихти проводяться на кожному етапі підготовки як за хімічним, так і за гранулометричним складом з урахуванням вологості. При складанні окремих груп матеріалів враховуються можливості розташування окремих шихтових матеріалів по перетину гранули шихти (рис.3). Основні технологічні ланцюги складаються з груп підготовки відходів (шламів, пилу й ін.), моношихти, накату (флюсів, палива).

Дані результатів розрахунків за методикою, що пропонується, дають можливість представляти інформацію для контролю заданої якості (хімічного складу, зменшення середніх відхилень) на кожному етапі підготовки, прогнозування властивостей агломерату, удосконалювання динамічної експертної системи, створення сприятливих умов процесу спікання.

Висновки.

1. Шихтові матеріали, що використовуються в агломераційному процесі, різняться як за хімічними, так і фізичними властивостями. Одними з причин значного коливання вмісту заліза в агломераті, основності, виходу придатного й ін. є одночасна підготовка всіх шихтових матеріалів і відсутність контролю на різних етапах підготовки.

2. Запропоновано схему ланцюга апаратів, що дозволяє проводити технологію роздільної підготовки (дозування, подачі добавок, змішування) і огрудкування.

3. Розроблено методику розрахунку агломераційної шихти, яка надає можливість контролю хімічного складу, матеріального балансу на кожному етапі підготовки і загального матеріального і теплового балансів агломераційного процесу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Теоретические основы производства окучкованного сырья: учеб. пособие. для высш. учеб. заведений / Ковалев Д.А., Ванюкова Н.Д. Иващенко В.П. [и др.]. – НМетАУ. – Днепропетровск: ИМА–пресс, 2011. – 476с.

Надійшла до редколегії 29.09.2016.

УДК 669.184.125

СИГАРЬОВ Є.М., д.т.н., професор
БАЙДУЖ Ю.В., аспірант
СЕМЕНОВА Д.А., аспірантка

Дніпродзержинський державний технічний університет

ШЛАКОВИЙ РЕЖИМ КОНВЕРТЕРНОЇ ПЛАВКИ З ВИКОРИСТАННЯМ КОМПЛЕКСНИХ ФЛЮСІВ

Вступ. Відносно кислі шлаки (основністю до 1,2) першого періоду продувки конвертерної ванни мають невелику в'язкість, здатні проникати вглиб вогнетривів футерівки вздовж міжзеренних меж та розчиняти MgO у вигляді мервиніту (3CaO-MgO-SiO₂). Захист футерівки у цей період може бути заснований на швидкому підвищенні вмісту оксиду магнію у шлаку шляхом присадки доломітизованого вапна, сирого доломіту, магнезиту або використанні спеціальних магнезійних флюсів.

У найбільшій мірі ступінь насичення шлаку оксидами магнію залежить від його основності. На початку продувки, коли відношення CaO/SiO₂ < 1, вона сягає 30% (при

температурі 1600°C), а по ходу підвищення основності шлаку до завершення продувки концентрація насичення MgO знижується та складає 5-6%.

Прискорене утворення активного рідкорухомого спіненого шлаку забезпечує перекриття наконечника кисневої фурми із попередженням заметалювання стовбура фурми та виносу металу з конвертера. У реальних конвертерних процесах спінений шлак є результатом зіставлення двох тенденцій. З одного боку, збільшення сумарного змісту оксидів заліза спричиняє собою підвищене виділення оксиду вуглецю, яке має суттєвий вплив на спінювання шлаку, а з іншого боку – збільшення окисненості шлаку зменшує його в'язкість, і, як наслідок, погіршується стійкість утвореної піни.

Постановка завдання. Перехід вапна у шлаковий розплав розпочинається після закінчення пасивного періоду. Склад шлаку, особливо первинного, значно впливає на процес розчинення вапна. Найбільш легкоплавкі з'єднання досягаються в системах FeO-MnO-CaO, CaO-Fe₂O₃ і CaO-P₂O₅. При наявності у первинному шлаку високої концентрації кремнезему на поверхні кусків вапна звичайно утворюється суцільна чи ділянками щільна оболонка ортосилікату кальцію з високою температурою конгруентного плавлення (2130°C). Це значно гальмує подальше розчинення вапна у шлаку.

Процес асиміляції вапна шлаком складається із ланок:

- по-перше, зовнішнього масоперенесення, а саме, дифузійного підведення FeO, MnO та інших оксидів-розчинників зі шлаку до поверхні вапна і відведення розчиненого оксиду кальцію від міжфазної межі у глибинні шари шлаку;

- по-друге, внутрішнього масоперенесення, а саме, проникнення рідкого шлаку у пори, тріщини і по межах зерен кусків вапна і наступної дифузії оксидів-розчинників (іонів) у решітку вапна з утворенням більш легкоплавких, ніж CaO, твердих розчинів і хімічних сполук у поверхневому шарі із глибиною проникнення шлаку:

$$l^2 = \frac{\sigma \cos \theta}{2\eta} r \tau, \quad (1)$$

де σ – поверхневий натяг рідкої фази; θ – кут змочування; η – динамічна в'язкість рідкої фази; r – радіус капіляра; τ – час контакту, с.

В умовах конвертування низькомарганцовистих передільних чавунів, зниженої якості вапна та відсутності присадок плавикового шпату для розрідження шлаку умови засвоєння вапна погіршуються.

Завданням дослідження є визначення технологічних переваг та впливу флюсу полімінерального (ФПМ) на кінетику розчинення вапна у початковий період продувки конвертерної ванни.

Результати роботи. ФПМ являє собою кусковий (20-40 мм) синтетичний флюс наступного складу, %: 42-47 CaO+MgO; 15-18 MgO; 16-21 SiO₂; 1-3 Al₂O₃; 4-8 FeO+Fe₂O₃; до 0,05 P₂O₅; до 0,05 S. ФПМ призначений для прискорення процесу шлакоутворення, часткової заміни вапна та насичення первинного шлаку MgO.

Згідно із прийнятою схемою у дослідній серії плавок ФПМ присаджували до конвертерної ванни на 2-ій та 5-ій хвилині продувки із витратою у співвідношенні 1:(1,6-2,5) відповідно. Дуттьовий режим (витрата кисню та зміна положення кисневої фурми по ходу плавки) у дослідних плавках відповідали штатній технології.

Витрата ФПМ на плавку визначалась, в основному, вмістом [Si]_ч. Вплив вмісту кремнію у передільному низькомарганцовистому чавуні на основність кінцевого шлаку наведено на рис.1.

Як видно (рис.1), найбільша ефективність використання ФПМ досягається при вмісті кремнію у передільному чавуні менш ніж 0,35-0,45% та основності шлаку до 2,0. Ефективність ФПМ підвищується із зменшенням вмісту кремнію та марганцю у чавуні.

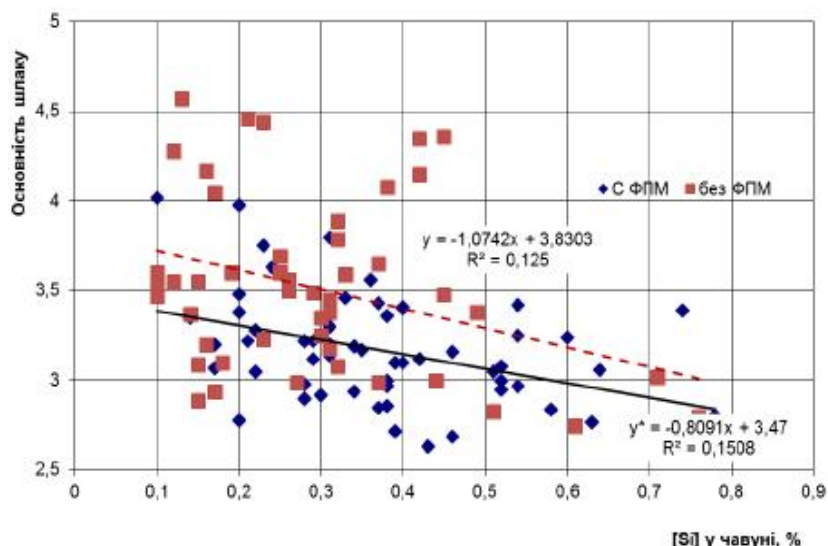


Рисунок 1 – Вплив присадки ФПМ на основність кінцевого шлаку

прискорення засвоєння вапна у початковий період плавки за рахунок утворення більш легкоплавких розплавів та збільшення глибини їх проникнення до куска вапна згідно із виразом (1).

При цьому в області підвищення концентрації ортосилікату кальцію при основності шлаку 1-1,5 коефіцієнт активності оксидів заліза максимізується [1], що при наявності в шлаку вапна і сталості активності $a_{FeO} = 0,3-0,4$ мінімізує (FeO), із звільненням кисню та витратою його на окислення [C] із виділенням {CO}. Завдяки тиксотропії шлак підтримується у в'язко-пластичному стані, але через його високу ефективну

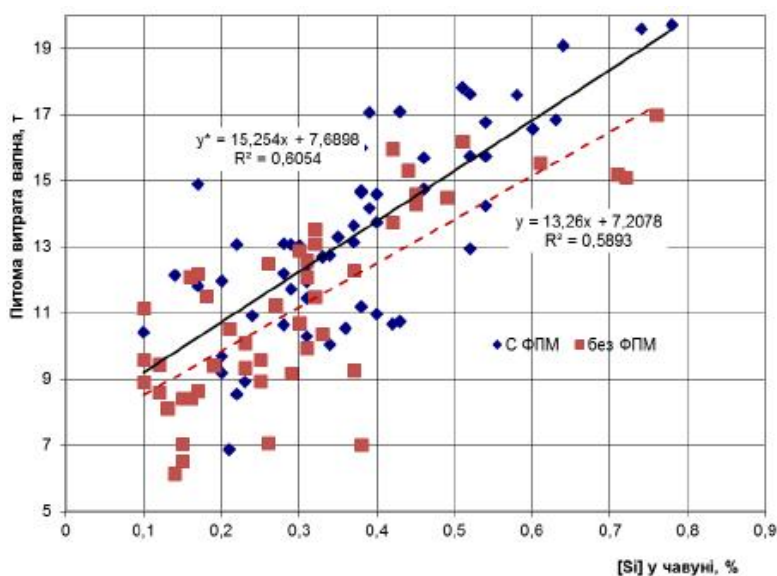


Рисунок 2 – Порівняння витрат вапна на плавку із до- бавками ФПМ та за штатною технологією

шлаку викликає його спінювання. Індекс спінювання можливо визначити із викорис- танням емпіричного рівняння [2], яке відображає залежність від в'язкості (μ , Нс/м²),

Відомо, що розчинення обпаленого доломіту протікає швидше, ніж звичайного вапна, що пов'язано із зниженою температурою плавлення евтектичної суміші CaO·MgO, а також руйнуючою дією MgO на силікатні оболонки зерен. Підвищення вмісту як CaO, так і MgO при розчиненні ФПМ (що містить 42-47% CaO+MgO та 15-18% MgO) у шлаку призводить до

в'язкості швидкість розчинення вапна знижується, поки основність не досягне 1,87 і шлак не ввійде в область 3CaO·SiO₂.

Так, основність кінцевого шлаку на плавках із використанням ФПМ менша, ніж у штатних плавках незважаючи на підвищення загальних витрат вапна (рис.2).

При підвищенні вмісту (FeO) по ходу продувки у низькоосновному первинному шлаку в'язкість останнього зменшується, а щільність зростає. Проходження газових об'ємів {CO} крізь шар

величини поверхневого натягнення (σ , Н/м), щільності шлаку (ρ , кг/м³) та діаметра газового пузиря (D , м):

$$I = 115 \frac{\mu^{1,2}}{\sigma^{0,2} \rho D^{0,9}} \cdot \quad (2)$$

Відповідно до виразу (2) при зменшенні в'язкості та зростанні щільності індекс спінювання зменшується, що негативно впливає на процес спінювання шлаку.

З використанням наведеного виразу проведено оцінку впливу (Fe₂O₃) на індекс спінювання шлаку за умов зміни вмісту (FeO) у різні періоди продувки конвертерної ванни. Отримали підтвердження результати роботи [3], згідно з якими із зменшенням вмісту (FeO) зростає вплив (Fe₂O₃) на умови спінювання шлаку в умовах плавки у ДСП.

Частка (Fe₂O₃) (переокисленого заліза) на початковому етапі продувки може перевищувати 30%. Встановлено, що з підвищенням частки Fe₂O₃ при визначеній окисненості шлаку коефіцієнт спінювання зменшується. Малий індекс спінювання (до 10) сприяє інтенсивному окисненню заліза. Зменшення окисненості шлаку у цей період можливо шляхом присадки вугілля. В той же час, в умовах уповільненого шлакоутворення, частина вуглецю з вугілля витрачається не на зменшення окисненості шлаку, а лише на утримання від подальшого окиснення заліза. При цьому із зменшенням вмісту (FeO) зростає ступінь впливу (Fe₂O₃) на схильність шлаку до спінювання. Присадка вугілля та розчинення у шлаковій ванні ФПМ призводить до зменшення питомого вмісту (FeO) та поверхневого натягнення шлаку, що сприяє спінюванню останнього.

Основні технологічні показники дослідних та порівняльних плавок наведено у табл.1.

Таблиця 1 – Основні показники плавок

Показники		Дослідні	Порівняльні
Кількість плавок	шт	290	310
Витрата ФПМ (середня)	т	3,51	–
–«»–	кг/т	1,43	–
Температура чавуну	°С	1314	1311
[Si] у чавуні	т	0,44	0,48
[C] на повалці	%	0,048	0,051
Вміст у кінцевому шлаку			
(SiO ₂)	%	18,8	17,4
(FeO)	%	16,9	15,4
(MgO)	%	6,84	5,57
(Al ₂ O ₃)	%	1,92	2,13
Маса плавки	т	243,8	243,2
Витрата флюсів (вапно + ФПМ)	т	20,46	20,52
Витрата чавуну	т	215,6	214,4
Вихід придатної сталі	%	89,11	88,50
Витрата вапна на 1 т Si у чавуні на 0,1 од. основності	т/т	0,671	0,612

Введення ФПМ призводить до незначного зниження ступеня видалення фосфору та підвищення вмісту останнього у металі наприкінці продувки (рис.3). Залежність зро-

стання вмісту [P] від питомої витрати ФПМ ($Q_{ФПМ}$) може бути представлена у вигляді

$$[P]_K = 0,0019Q_{ФПМ} + 0,0115. \quad (3)$$

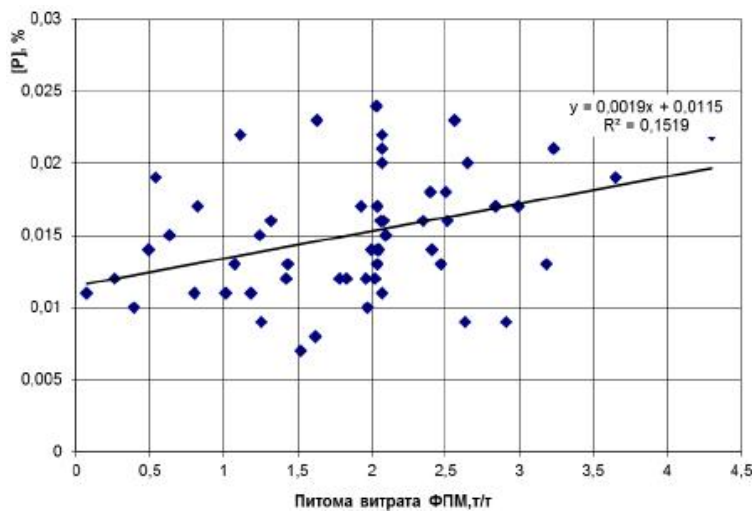
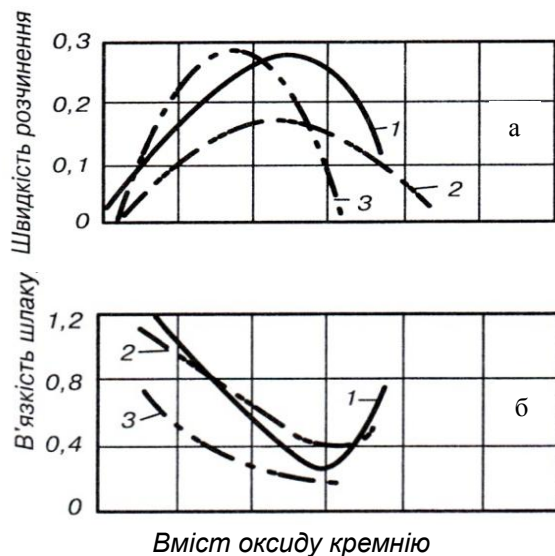


Рисунок 3 – Залежність вмісту фосфору в металі на випуску з конвертера від питомої витрати ФПМ

Питомі витрати вапна на 1 т [Si] на 0,1 од. основності підвищилися на 8,79%, що підтверджує вплив складової SiO_2 з ФПМ. В той же час, збільшення вмісту у шлаку кремнезему при незмінному співвідношенні інших його складових спочатку розріджує шлак, переміщуючи його склад із гетерогенної у гомогенну зону розплаву, і цим збільшує його активність відносно засвоєння вапна. Однак взаємодія шлаків, що містять кремнезем, з вапном протікає, як уже відзначалося, з утво-

ренням щільних оболонок ортосилкату кальцію, що перешкоджають подальшому проникненню розчинників усередину куска вапна. Тому збільшення концентрації кремнезему понад оптимальні значення досить негативно позначається на кінетиці розчинення у шлаку вапна, що спостерігається за різким спадом кривих (рис.4, а) [3]. Негативний вплив підсилюється при зростанні вмісту кремнезему у шлаку більш ніж на 30% збільшенням в'язкості шлаку (рис.4, б) в результаті укрупнення кремнекисневих аніонів. Останнє викликає закономірне погіршення умов десульфурзації металу (рис.5).



- 1 – 0-33% тривалості продувки;
- 2 – 34-67%; 3 – 68-100%

Рисунок 4 – Вплив вмісту кремнезему на властивості шлаку та кінетику розчинення вапна

При підвищенні у шлаку концентрації оксидів FeO та MnO істотно поліпшуються змочування шлаком вапна та умови проникнення шлаку в пори у зв'язку зі зменшенням крайового кута, утвореного шлаком на поверхні твердого вапна, і збільшенням поверхневого натягнення шлаку згідно з рівнянням (1). Іони, з яких складаються оксиди заліза (Fe^{2+} , O^{2-}), мають невеликі розміри ($R_{Fe^{2+}} = 0,83A$, $R_{O^{2-}} = 1,32A$) і кристалізуються аналогічно CaO у кубічній системі. Це полегшує міграцію оксидів заліза у решітку вапна і їх дифузію з утворенням надто легкоплавких розчинів і феритів кальцію. Проникнення кремнезему і глинозему у

темі. Це полегшує міграцію оксидів заліза у решітку вапна і їх дифузію з утворенням надто легкоплавких розчинів і феритів кальцію. Проникнення кремнезему і глинозему у

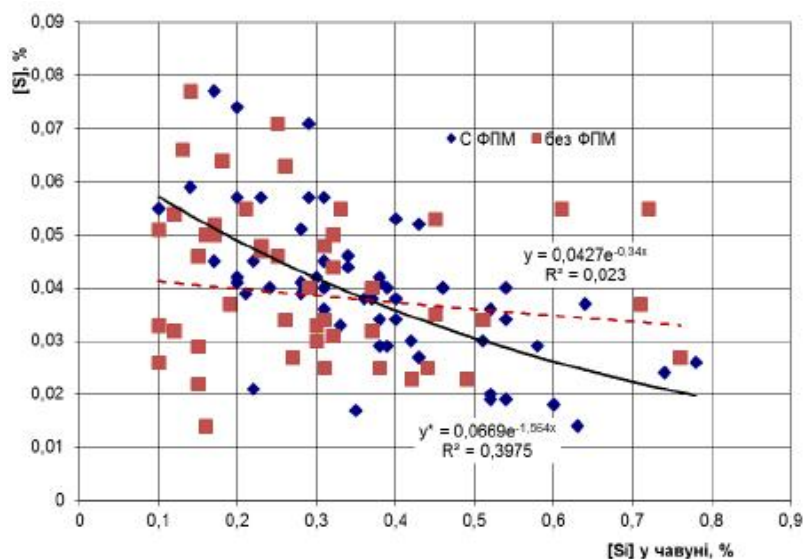


Рисунок 5 – Вплив добавок ФПМ на вміст сірки у металі на випуску з конвертера

конвертерний шлак забезпечує також швидке зростання до 6-7% оксиду магнію, позитивно позначається на процесі переходу MgO з футерівки до шлаку. При цьому зменшується в'язкість шлаків (знижується енергія зв'язування часток шлаку за рахунок підвищення числа різнойменних часток), і збільшується масопотік оксиду кальцію, що розчиняється, за одиницю часу.

Присадку ФПМ у початковий період плавки доцільно проводити розосереджено, у два-три прийоми, з врахуванням початкового вмісту кремнію у чавуні та типу вапна для попередження надмірного підвищення в'язкості шлаку із погіршенням показників десульфурзації та дефосфорації розплаву.

Висновки. За результатами досліджень закономірностей шлакоутворення у початковий період продувки конвертерної ванни при розосереджених у часі присадках полімерного флюсу визначено технологічні переваги та недоліки його використання. Встановлено, що максимальна ефективність використання ФПМ як флюсу, що сприяє прискореному шлакоутворенню та спінюванню шлаку, забезпечується при вмісті кремнію у чавунах менш ніж 0,35-0,45% та основності шлаку до 2,0. Присадка вугілля у періоди додавання ФПМ є обов'язковим елементом шлакового режиму. Це забезпечує зниження вмісту (Fe_2O_3) та підвищення здатності низькоосновного окисленого шлаку до спінювання, зменшення втрат заліза із виносами та підвищення виходу рідкого металу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Охотский В.Б. Шлакообразование в конвертерной ванне / В.Б.Охотский // Новости науки Приднепровья. – 2008. – №1. – С.33-34.
2. Foaming and the rate of carbon-iron oxide reaction in slag / R.Corbani, H.Matsuura, S.Halder et al. // AISTech Proceedings. – 2009. – №1. – P.593-615.
3. Особенности шлакового режима современной ДСП / В.А.Бигеев, А.Е.Малофеев, А.В.Пантелеев [и др.] // Труды десятого конгресса сталеплавателей. – ОАО «Черметинформация». – 2009. – С.305-309.

Надійшла до редколегії 25.10.2016.