

УДК 669.184.244.66.001.57-52

СТАТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК МЕТАЛЕВОЇ ЧАСТИНИ ШИХТИ КИСНЕВО-КОНВЕРТЕРНОЇ ПЛАВКИ

К. О. Сергеева, В. С. Богушевський

*Національний технічний університет України
„Київський політехнічний інститут”*

Наведені результати досліджень розрахунку металевої частини шихти в умовах діючого виробництва. Визначені парні залежності витрати складових шихти від вмісту силіцію, температури чавуну і заданої температури сталі. Методом планованого експерименту отримано сукупне рівняння впливу досліджених складових на витрату чавуну на плавку.

Приведены результаты исследований расчета металлической части шихты в условиях действующего производства. Определены парные зависимости расхода составляющих шихты от содержания кремния, температуры чугуна и заданной температуры стали. Методом планируемого эксперимента получено совокупное уравнение влияния исследованных составляющих на расход чугуна на плавку.

The research results for calculation the metallic part of charge in the conditions of operating production are resulted. Pair dependences of expensing constituents of charge on maintenance of silicon, temperature of cast-iron and set temperature of steel are determined. By means of the planned experiment method, the combined equation of influence for investigational constituents on the expense of cast-iron on melting is received.

Вступ

Основною складовою шихтових матеріалів киснево-конвертерної плавки є рідкий чавун, частка якого у металевій шихті дорівнює 70...90 % і металевий брухт. Кількість останнього визначається хімічним і фізичним теплом, що вносить чавун. У світовій практиці киснево-конвертерного виробництва використовують чавуни з широким інтервалом вмісту основних домішок, мас. %: 3,9...4,5 C; 0,3...1,2 Si; 0,3...2,2 Mn; 0,08...0,30 P; 0,02...0,06 S; 0,0015...0,0140 N; 0,00005...0,0003 H; 0,0004...0,0100 O, з температурою 1250...1450 °C.

Тепловий режим плавки значно впливає на якість сталі, вихід

корисного, шлакоутворення, стійкість футерівки. Найкращі показники якості сталі і зливка отримуємо звичайно при досягненні у кінці продувки деякої оптимальної температури металу, яка варіюється для різних марок сталі і способів розливу. Оптимальний перегрів металу перед випуском відносно температури плавлення коливається в межах 80...150 °С [1].

У випадку продувки переробного чавуну киснем втрати тепла з газами, що виходять з конвертера складають всього 6...9,5 %, від загальних витрат тепла. Тому завжди є значний надлишок тепла порівняно з необхідним для нагріву металу і шлаку, і потрібно уводити охолоджувальні матеріали (металевий брухт, вапняк або руду). Коефіцієнт корисного тепловикористання у кисневих конвертерах, оскільки основна частина тепла виділяється у ванні, складає біля 70 %. Це значно вище, ніж в мартенівських печах і конвертерах донного дуття з продувкою повітрям.

Розрахунки показують, що при переробці звичайного чавуну приблизно 54...58 % всього тепла, що виділяється у ванну при хімічних реакціях, приходить на окиснення вуглецю. Цього тепла цілком достатньо для нагрівання металу і шлаку до потрібної кінцевої температури. Тому за умов теплового балансу можливо переробляти будь який чавун, навіть із гранично низьким вмістом таких елементів як силіцій, манган і фосфор.

Вміст вуглецю у рідкому чавуні безперервно змінюється внаслідок зменшення температури, що пов'язане із тепловими втратами в чавуновізному ковші. За інших однакових умов концентрація вуглецю у чавуні, що заливається у конвертер, відповідає стану насиченості. Згідно узагальненим даним багатьох досліджень масова частка вуглецю, що насичує чавун, $C_{нас}$, %, може бути наведена виразом [2]:

$$C_{нас} = 1,34 + 0,00254t_{ч} - 0,3Si_{ч} - 0,34P_{ч} - 0,39S_{ч} - 0,045Ni_{ч} + \\ + 0,024Mn_{ч} + 0,05Cr_{ч} + 0,14Ti_{ч} + 0,08V_{ч}, \quad (1)$$

де $t_{ч}$ – температура чавуну, °С; $Si_{ч}$, $P_{ч}$, $S_{ч}$, $Ni_{ч}$, $Mn_{ч}$, $Cr_{ч}$, $Ti_{ч}$, $V_{ч}$ – масові частки відповідних елементів у чавуні, %.

Існуючі моделі статичного розрахунку металеві частини шихти або достатньо складні для умов промислового виробництва, або мають велику похибку [3, 4].

Постановка задачі дослідження

Мета роботи – отримати модель розрахунку металеві частини шихти, що адекватна процесу.

Як відомо найбільше впливає на показники конвертерного процесу вміст силіцію в чавуні, від якого залежить кількість SiO_2 у шлаку, кількість потрібних добавок вапна, а також кількість шлаку. Шлак формується

внаслідок розчинення вапна, основним розчинником якого є SiO_2 . Суттєво на тепловий баланс впливає температура чавуну при зливі його в конвертер і задана температура металу на випуску. Це визначає наступні задачі, що потребують вирішення:

– дослідження плавок поточного виробництва для отримання парних залежностей між масою чавуну (брухту) і такими вихідними параметрами, як вміст силіцію й температура чавуну, а також температура металу на випуску;

– проведення планованого експерименту для визначення рівняння регресії, що дозволяє отримати залежності для статичного керування плавкою.

Методика проведення експериментів

Дослідження технологічних закономірностей проводились на конвертерах ємності 350 тон металургійного комбінату „Азовсталь”. Технологія продувки в процесі досліджень характеризувалася наступним чином. В конвертерах переплавлявся переробний чавун з вмістом (мас.%) силіцію 0,4...1,6, мангану 0,5...1,8, сірки 0,02...0,07, фосфору 0,02...0,15 і температурою 1200...1400 °С. В завалку завантажували 0...30 %¹ металевого брухту і заливали 270...310 т чавуну. Рідкий чавун із міксеру подавали 300 т ковшах, наповнених чавуном до рівня 600 мм від верху ковша. Вимоги до сталевого брухту включали компактність, достатню насипну масу (велику масу при не дуже великих розмірах), відсутність кольорових металів, сміття, землі, вологи, вибухонебезпечних матеріалів та великої кількості іржі. Маса шматків за умов збереження футерівки і повного розчинення в металі до завершення продувки не перевищувала 3,0...3,5 т. Легковаговий брухт пакетували, оскільки при використанні непакетованого брухту збільшується тривалість завалки і різко знижується температура ванни на початку продувки через швидке розчинення брухту в чавуні. Щільність пакетів була не нижчою 1800 кг/м³.

Як шлакоутворюючі використовували вапно в кількості 8...15 % і плавиковий шпат – 0,1... 0,5 %. Продувку проводили через багатосоплові фурми с кількістю сопел 6, з кутом вісі сопла до вертикалі 15...20 град. Інтенсивність подання кисню становила 4...4,5 м³/(т · хв). Сортамент марок сталі характеризувався вмістом вуглецю на випуску 0,04...0,05 % і температурою – 1650... 1710 °С.

Дослідження проводились на плавках поточного виробництва, балансових і зі зміною параметрів методами планованого експерименту. У всіх випадках відбиралися проби чавуну, металу і шлаку на повалках

¹ - тут і далі величини обчислюються у відсотках від маси металошихти

конвертера і фіксувались вихідні параметри процесу. Частина плавок проводилась з відбором проб металу на протязі продувки без повалки конвертера.

Під час проведення планованого експерименту використовували обидва міксери, в яких забезпечувався різний вміст силіцію. Зниження температури чавуну досягали витримкою його в чавунозаливному ковші.

Технологічне устаткування було оснащено наступними засобами контролю параметрів з пристроями передання інформації в УОК:

- крановими електронно-тензометричними вагами для виміру маси брухту в совку, чавуна і сталі в ковші з точністю 0,5 %;
- вимірювальною системою контролю температури чавуна з точністю 8 °С;
- вагами для виміру маси сипких і розкиснювачів з точністю 0,2 %;
- вимірювальними системами контролю хімічного складу чавуна, металу, сталі і шлаку з точністю виміру за ДСТУ.

Результати досліджень

За плавками поточного виробництва проведено пасивний експеримент, що дозволив отримати парні залежності між витратою чавуну на плавку і його температурою, вмістом силіцію у чавуні і кінцевою температурою металу на повалці (рис. 1).

Враховуючи, що сумарна маса чавуна і брухту дорівнює 380 тон, тобто кількість брухту однозначно визначається після визначення маси чавуну, дослідження залежностей для кількості брухту не проводили. Аналітичний вигляд залежностей має вигляд:

$$m_{\text{ч}} = -0,37t_{\text{ч}} + 773,8; r = 0,658; \sigma = 0,9 \text{ т}; P > 0,950; \quad (2)$$

$$m_{\text{ч}} = -45,5\text{Si}_{\text{ч}} + 349,35; r = 0,703; \sigma = 0,85 \text{ т}; P > 0,950; \quad (3)$$

$$m_{\text{ч}} = 0,23t_{\text{с}} - 85,5; r = 0,715; \sigma = 0,81 \text{ т}; P > 0,950, \quad (4)$$

де $m_{\text{ч}}$ – маса чавуну на плавку, т; $t_{\text{ч}}$, $t_{\text{с}}$ – відповідно температура чавуна і сталі, °С; $\text{Si}_{\text{ч}}$ – вміст силіцію у чавуні, %; r – коефіцієнт парної кореляції; σ – залишкове середньоквадратичне відхилення; P – достовірність коефіцієнта кореляції.

Таким чином встановили, що при збільшенні температури чавуну і вмісту силіцію в ньому масові витрати чавуну на плавку зменшуються, а масові витрати брухту – збільшуються. При збільшенні заданої температури металу на повалці масові витрати чавуну на плавку збільшуються, а масові витрати брухту – зменшуються. Збільшення масової витрати чавуну на плавку на 5 тон (при відповідному зниженні масової витрати брухту) збільшує питомі витрати чавуну на 13 кг/т шихти.

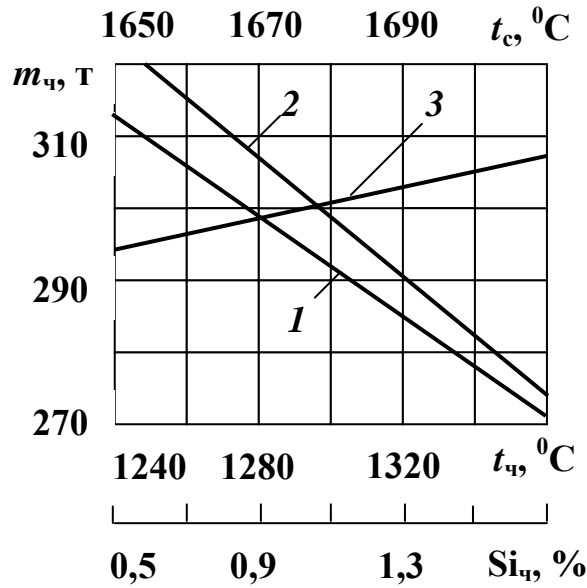


Рис. 1. Залежність між витратою чавуну на плавку, температурою чавуну (1), вмістом силіцію у чавуні (2) і кінцевою температурою металу на повалці (3)

Для того, щоб виявити одночасний вплив вмісту силіцію, кінцевої температури металу на повалці та температури чавуну на масові його витрати, проводили повний факторний експеримент (табл. 1).

Таблиця 1. Матриця повного факторного експерименту

№	X_1	X_2	X_3	$X_1 X_2$	$X_1 X_3$	$X_2 X_3$	$X_1 X_2 X_3$	Y
1	0	0	0	0	0	0	0	298,5
2	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	315
3	+1	-1	-1	-1	-1	-1	+1	285
4	-1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	280
5	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	270
6	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	330
7	+1	-1	+1	-1	+1	+1	-1	300
8	-1	+1	+1	-1	-1	-1	-1	290
9	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	275
10	0	0	0	0	0	0	0	298,3

Під час експерименту вміст силіцію у плавках (X_1) набував значень 0,55 і 1,45 %, температура чавуна (X_2) – 1240 і 1365 $^\circ C$, температури металу на повалці (X_3) – 1650 і 1710 $^\circ C$. Вихідною величиною була витрата чавуну (Y). Для контролю відсутності дрейфу під час експерименту, що викликаний неконтрольованими параметрами, перед початком і в кінці досліджень проводили плавки з середніми значеннями параметрів.

Кінцеве рівняння, що отримане в результаті експерименту, має вигляд:

$$m_{\text{ч}} = 293,125 - 10,625 \cdot \text{Si}_{\text{ч}} - 1,12 \cdot 10^{-3} \cdot t_{\text{ч}} + 3,31 \cdot 10^{-3} \cdot t_{\text{с}} + 3,42 \cdot 10^{-3} \cdot \text{Si}_{\text{ч}} \cdot t_{\text{ч}} - 8,57 \cdot 10^{-7} \cdot t_{\text{ч}} \cdot t_{\text{с}} - 3,72 \cdot 10^{-4} \cdot \text{Si}_{\text{ч}} \cdot t_{\text{с}} - 2,86 \cdot 10^{-7} \cdot \text{Si}_{\text{ч}} \cdot t_{\text{ч}} \cdot t_{\text{с}}. \quad (5)$$

Дрейф під час експерименту, що викликаний неконтрольованими параметрами практично відсутній.

Рівняння (5) дозволяє розрахувати металеву частину шихти і замовити необхідну кількість металевого брухту і чавуну.

Коректування шихтовки плавки виконують при відхиленнях параметрів металу від заданих, отриманих після закінчення продувки:

- по температурі металу – на 20 °С та більше;
- по масовій долі вуглецю у металі – більше +0,02 % від заданого.

Для підвищення чи зниження температури металу на 20...25 °С, масову витрату чавуну змінюють на 5 т з відповідним збільшенням чи зменшенням масової витрати брухту на таку ж величину.

Для підвищення масової долі вуглецю у металі на 0,01 % без зміни температури, масову витрату чавуну збільшують, а масову витрату брухту зменшують на 2,5 т відповідно.

Висновки

1. Встановлено, що при збільшенні температури чавуну і вмісту силіцію в ньому масові витрати чавуну на плавку зменшуються, а масові витрати брухту – збільшуються. При збільшенні заданої температури металу на повалці масові витрати чавуну на плавку збільшуються, а масові витрати брухту – зменшуються.

2. Коректування шихтовки плавки виконують при відхиленнях параметрів металу від заданих, отриманих після закінчення продувки: по температурі не менше ніж на 20 °С, по вмісту вуглецю не менше ніж 0,02 %.

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. Конвертерне виробництво сталі (теорія, технологія, якість сталі, конструкція агрегатів, рециркуляція матеріалів і екологія). – Дніпропетровськ: РВА „Дніпро-ВАЛ”, 2004. – 454 с.
3. Состояние и перспективы развития систем контроля и управления конвертерным процессом / Б.Н.Окорочков, Ю.Я.Трейстер, Ю.Ф.Вяткин и др. // Сталь. – 1993. – № 6. – С. 22 – 25.
4. Система управления конвертерной плавкой /В.С.Богушевский, Г.Г.Грабовский, Н.С.Церковницкий, В.А.Ушаков // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2007. – С. 232 – 235.