

## РОЗРАХУНОК МЕТАЛЕВОЇ ЧАСТИНИ ШИХТИ КИСНЕВО-КОНВЕРТЕРНОЇ ПЛАВКИ

*В.С.Богушевський, К.О. Сергеева, В.Ю.Сухенко, С.В.Жук*

*Національний технічний університет України  
„Київський політехнічний інститут”*

### 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, %: 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.

Розрахунки показують, що при переробці звичайного чавуну приблизно 54...58 % всього тепла, що виділяється у ванну при хімічних реакціях, приходиться 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]:

$$C_{нас} = 1,34 + 0,0025t_{ч} - 0,3Si_{ч} - 0,34P_{ч} - 0,39S_{ч} - 0,045Ni_{ч} + 0,024Mn_{ч} + 0,05Cr_{ч} + 0,14Ti_{ч} + 0,08V_{ч}, \quad (1)$$

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

Існуючі моделі статичного розрахунку металевої частини шихти або достатньо складні для умов промислового виробництва, або мають велику похибку, не враховують можливу переробку рідкої сталі, а також переробку різного за хімічним складом брухту [3, 4].

## **Постановка задачі дослідження**

Мета роботи – розробити модель розрахунку металеві частини шихти, адекватної процесу, що враховує можливість переробки рідкої сталі, а також переробку різного за хімічним складом брухту.

Як відомо найбільше впливає на показники конвертерного процесу вміст силіцію в чавуні, від якого залежить кількість  $\text{SiO}_2$  у шлаку, кількість потрібних добавок вапна, а також кількість шлаку. Шлак формується внаслідок розчинення вапна, основним розчинником якого є  $\text{SiO}_2$ . 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;
- планування експерименту для визначення рівняння регресії, що дозволяє отримати залежності для статичного керування плавою;
- розробка алгоритму розрахунку металеві частини шихти.

## **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 (%) 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 %<sup>1)</sup> металеві брухту і заливали 270...310 т чавуну. Рідкий чавун із міксера подавали 300 т ковшах, наповнених чавуном до рівня 600 мм від верху ковша. Вимоги до сталеві брухту включали компактність, достатню насипну масу (велику масу при не дуже великих розмірах), відсутність кольорові металів, сміття, землі, вологи, вибухонебезпечні 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. Легковагові брухт пакетували, оскільки при використанні непакетовані 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/м<sup>3</sup>.

Як шлакоутворюючі використовували вапно в кількості 8...15 % і плавикий шпат – 0,1... 0,5 %. Продувку проводили через багатосоплові фурми с кількістю сопел 6 (одне центральне), з кутом вісі сопла до вертикалі 15...20 град. Інтенсивність подання кисню становила 4...4,5 м<sup>3</sup>/(т · хв.). Сортамент марок сталі характеризувався вмістом вуглецю на випуску 0,04...0,05 % і температурою – 1650... 1710 °С.

---

<sup>1)</sup> Тут і далі величини обчислюються у відсотках від маси металі шихти

Дослідження проводились на плавках поточного виробництва і балансових. У всіх випадках відбиралися проби чавуну, металу і шлаку на повалках конвертера і фіксувалися вихідні параметри процесу.

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).

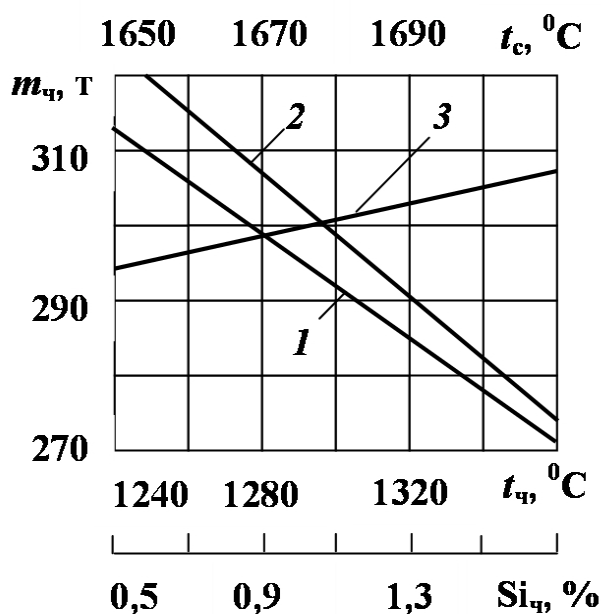


Рис. 1. Залежність між витратою чавуну на плавку, температурою чавуну (1), вмістом силіцію у чавуні (2) і кінцевою температурою металу на повалці (3)

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

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

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

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

де  $m_{\text{ч}}$  – маса чавуну на плавку, т;  $t_{\text{ч}}$ ,  $t_{\text{с}}$  – відповідно температура чавуна і сталі, °С;  $Si_{\text{ч}}$  – вміст силіцію у чавуні, %;  $r$  – коефіцієнт парної кореляції;  $\sigma$  – 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.

Одночасний вплив вмісту силіцію, кінцевої температури металу на повалці та температури чавуну на масові його витрати визначений регресійним аналізом.

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

$$m_{\text{ч}} = 593,34 - 25,09Si_{\text{ч}} - 202,7 \cdot 10^{-3}t_{\text{ч}} + 11,03 \cdot 10^{-3}t_{\text{с}} - 14,61 \cdot 10^{-3}Si_{\text{ч}}t_{\text{ч}} - 4,66 \cdot 10^{-6}t_{\text{ч}}t_{\text{с}} - 2,64 \cdot 10^{-3}Si_{\text{ч}}t_{\text{с}} - 3,67 \cdot 10^{-6}Si_{\text{ч}}t_{\text{ч}}t_{\text{с}}. \quad (5)$$

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

При замовленні брухту визначається його вид, що залежить від марки сталі, відповідно Технологічній інструкції виробництва сталі ВАТ „Металургійний комбінат «Азовсталь»”

– зворотний сталевий низькосірчаний брухт використовують для виплавки низькосірчаних марок сталі у наступному співвідношенні від загального об’єму сталевого брухту і відходів:

- 1) 100 % – для марок сталі з масовою часткою сірки не більше 0,006 %;
- 2) 50 – 100 % – для марок сталі з масовою часткою сірки не більше 0,008 %;
- 3) не більше 30 % – для марок сталі з масовою часткою сірки 0,009 – 0,015 %,

– брухт з відділення шлакопереробки (ВШП) використовують при виплавці сталі з масовою часткою сталі більше 0,010 %, при цьому витрати брухту ВШП не повинні перевищувати 5 т,

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.

У випадку повернення плавки (найчастіше внаслідок перевищення вмістом шкідливих елементів верхнього межового значення в заданій марці або низької температури) в конвертері переробляють рідку сталь. При цьому переробляють повну плавку або її частину. В обох випадках плавку дошихтовують рідким чавуном і металобрухтом. Розрахунок металеві частини шихти проводять по балансу тепла (фізичного і хімічного), що вноситься чавуном і сталлю. Відповідні рівняння перераховані на масу металевого брухту мають вигляд

$$m_{\text{б.с}} = 0,111Si + 0,078C + 0,114P + 0,333Mn + 0,2Al + 0,122Ti + 0,067Cr + 0,089V + 0,056Nb - 0,444 \cdot 10^{-3}(t_{\text{м}} - t_{\text{с}}); \quad (6)$$

$$m_{\text{б.ч}} = 0,083Si + 0,058C + 0,108P + 0,025Mn - 0,333 \cdot 10^{-3}(t_{\text{м}} - t_{\text{с}}) + 0,027, \quad (7)$$

де  $m_{\text{б.с}}$  – маса брухту для компенсації фізичного і хімічного тепла рідкої сталі, т/т рідкої сталі;  $m_{\text{б.ч}}$  – маса брухту для компенсації фізичного і хімічного тепла рідкого чавуну, т/т додаткової металошихти; Si, C, P, Mn, Al, Ti, Cr, V, Nb – вміст відповідного елемента, %;  $t_{\text{м}}$ ,  $t_{\text{р.с}}$  – температура металу на випуску й рідкої сталі перед заливанням у конвертер,  $^{\circ}\text{C}$ .

Маса додаткової металошихти, що складається із маси чавуну і маси брухту для компенсації фізичного і хімічного тепла рідкого чавуну

$$m_{\text{ч}} + m_{\text{б.ч}} = m_{\text{с}} - (m_{\text{р.с}} + m_{\text{б.с}}), \quad (8)$$

де  $m_{\text{ч}}$ ,  $m_{\text{с}}$ ,  $m_{\text{р.с}}$  – маса відповідно чавуну, садки і рідкої сталі, т.

Температуру рідкої сталі вимірюють перед заливанням в конвертер. В разі відсутності засобів вимірювання обчислюють за часом витримки рідкої сталі в ковші [5].

Для підвищення чи зниження температури металу на 20...25  $^{\circ}\text{C}$ , 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  $^{\circ}\text{C}$ , по вмісту вуглецю не менше ніж на 0,02 %.

3. При переробці поверненої рідкої сталі плавку дошихтовують рідким чавуном і брухтом в залежності від маси і хімічного складу поверненої плавки й заданої для виплавки.

## 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.Окороков, 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.
5. Богушевский В.С., Рюмшин Н.А., Сорокин Н.А. Основы математического описания технологических процессов конвертерного производства стали. К.: НПО „Киевский институт автоматики”, 1992. – 168 с.

*Наведені результати досліджень розрахунку металеві частини шихти в умовах діючого виробництва. Визначені парні залежності витрати складових шихти від вмісту силіцію, температури чавуну і заданої температури сталі. Методом регресійного аналізу отримано сукупне рівняння впливу досліджених складових на витрату чавуну на плавку. Наведено розрахунок металеві частини шихти для плавки з поверненням рідкої сталі.*

*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 регрессионного анализа получено совокупное уравнение влияния исследованных составляющих на расход чугуна на плавку. Приведен расчет металлической части шихты для плавки с возвратом жидкой стали.*

*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 regression analysis method, the combined equation of influence for investigational constituents on the expense of cast-iron on melting is received. The calculation of metallic part of charge for melting by the return of liquid steel are researched.*

*Ключові слова: КОНВЕРТЕР, ШИХТА, ЧАВУН, БРУХТ, ПОВЕРНЕННЯ ПЛАВКИ.*