

УДК 669.184.244.66.001.57-52

## **ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ДУТТЯ НА ЗНЕВУГЛЕЦЮВАННЯ ВАННИ КИСНЕВОГО КОНВЕРТЕРА**

*В.С.Богушевський, В.Ю.Сухенко  
Національний технічний університет України  
„Київський політехнічний інститут”*

*У статті встановлені залежності розрахунку швидкості зневуглецювання для початкового і кінцевого періоду плавки в залежності від параметрів дуття.*

*В статье найдены зависимости расчета скорости обезуглероживания для начального и конечного периодов плавки в зависимости от параметров дутья.*

*Dependences are found in article calculation of rate or carbon oxidation for the initial and final periods of melting depending on rate of blowing.*

### **Вступ**

Киснево-конвертерний процес — це процес виробництва сталі з рідкого чавуну з додаванням сталевого брухту у конвертер із лужною футерівкою та продуванням киснем зверху крізь фурму, що охолоджується водою.

Найважливіші технологічні складові процесу продування конвертерної плавки – зневуглецювання, шлакоутворення і температурна – залежать від режиму дуття, що визначає глибину реакційної зони. Параметрами регулювання режиму дуття є інтенсивність подання кисню і відстань кінцевика фурми до рівня ванни [1,2].

### **Постановка задачі**

Дослідити як впливає зміна керуючих діянь – витрати кисню і положення фурми над рівнем спокійного металу на зневуглецювання ванни конвертера.

### **Результати досліджень**

У ході процесу продувки АСКТП повинна виконувати комплексні задачі синхронізації процесів рафінування і нагріву ванни в умовах максимально можливої інтенсивності дуття і підтримання необхідного шлакового режиму. У кінці продувки оператор конвертера вирішує питання про найбільш точне визначення моменту її припинення, використовуючи всю інформацію про процес, щоб після першої повалки отримати метал із заданими фізико-хімічними властивостями.

Для отримання з певною точністю заданих значень частки вуглецю і температури металу зміну останнього достатньо здійснювати дискретно 2...3 рази у другому періоді процесу продувки і відповідно алгоритму визначити момент закінчення продувки. Для періодичного визначення контролю параметрів ванни використовують водоохолоджуваний занурювальний зонд. Масову частку вуглецю визначають за температурою ліквідусу. Окрім інформації про температуру, отримують також пробу металу для аналізу [3].

Для останнього періоду продування при постійних умовах однозначності рівняння масової частки вуглецю у ванні конвертера можна представити у вигляді

$$C = A - \frac{\varepsilon V + B}{m}, \quad (1)$$

де  $C$  - частка вуглецю у ванні, %;  $A$  - величина, що характеризує склад чавуну, %;  $\varepsilon$  - коефіцієнт, який характеризує інтенсивність окиснення вуглецю у різні кінетичні періоди, %·т/м<sup>3</sup>;  $V$  - об'єм дуття на продувку при нормальних умовах, м<sup>3</sup>;  $B$  - величина, що характеризує окиснюючу дію домішок, %·т;  $m$  - маса металу, т.

Продувка завершують при частці вуглецю 0,60...0,07 %. Для цього інтервалу необхідно розглядати два кінетичних періоди. У першому періоді швидкість окиснення вуглецю не залежить від абсолютних значень вмісту вуглецю. Якщо визначним фактором є швидкість надходження кисню на поверхню металу, то справедливо рівняння

$$-dC/d\tau = \varepsilon_1 v / m, \quad (2)$$

де  $-dC/d\tau$  - швидкість зневуглецювання, %/хв;

$\varepsilon_1 = \frac{24 \cdot 10^2}{22,4 \cdot 10^3} \varepsilon_2 \varepsilon_3 = 0,107 \varepsilon_2 \varepsilon_3$  - коефіцієнт, що характеризує інтенсивність

окиснення вуглецю у першому кінетичному періоді, %/м<sup>3</sup>;  $\varepsilon_2$  - коефіцієнт використання кисню;  $\varepsilon_3$  - об'ємна частка кисню у дутті. Приймаємо  $\varepsilon_2 = 0,9$  і  $\varepsilon_3 = 0,995$ , отримаємо

$$-dC/d\tau = 0,096 v / m, \quad (3)$$

У другому кінетичному періоді швидкість зневуглецювання знаходиться в залежності від частки вуглецю. Відомо дві форми представлення цієї залежності [4]

$$dC/d\tau = 60 \beta F C / V_m, \quad (4)$$

і

$$-dC/d\tau = 0,096 v / [m(1 + \varepsilon_4 / C^2)], \quad (5)$$

де  $\beta$  - ефективний коефіцієнт масоперенесення у ванні м/с;  $F$  - площа поверхні, на якій відбувається процес окиснення вуглецю, м<sup>2</sup>;  $V_M$  - об'єм металеві ванни, м<sup>3</sup>;  $\varepsilon_4$  - коефіцієнт, (%)<sup>2</sup>.

При частці вуглецю вище 0,3 % рівняння (5) співпадає з рівнянням (3), так як  $\varepsilon_4 / C^2 \rightarrow 0$ . Вирішуючи рівняння (4), отримаємо

$$C = C_{кр} \exp\left(-\frac{\tau}{\Delta\tau}\right), \quad (6)$$

де  $C_{кр}$  - критичне значення вмісту вуглецю у ванні, %;  $\tau$  - поточний час, який відраховується від початку другого кінетичного періоду, хв;

$\Delta\tau = \frac{V_M}{60\beta F}$  - постійна часу проходження процесу окиснення вуглецю

ванни у другому кінетичному періоді, хв.

Розглянемо кінцевий період процесу зневуглецювання в умовах зміни витрат кисневого дуття. Відомо, що в цих умовах критична частка вуглецю коливається в залежності від зміни питомої витрати окисника у напрямку поверхні металу [5]. Нами були отримані залежності критичної частки вуглецю від параметрів дуттьового режиму. Питомі на тону чавуну витрати дуття  $\nu_{\Pi} = \nu / m_{\text{ч}}$ , м<sup>3</sup>/(хв·т); об'ємної частки кисню у дутті  $\varepsilon_3$ ; питомої витрати кисню, м<sup>3</sup>/(хв·т); положення фурми відносно рівня спокійного металу  $H$ ,  $\nu_{*\Pi} = \varepsilon_3 \nu_{\Pi}$  м; питомої глибини реакційної зони  $h_p = \nu_{*\Pi} / H$ , м<sup>2</sup>/(хв·т), статичні характеристики цих рівнянь наведені у табл.1.

Таблиця 1 – Статичні характеристики залежності критичної масової частки вуглецю від параметрів дуттьового режиму

Рівняння	$r$	$\sigma, \%$	$P$
$C_{кр} = -0,06 + 0,116\nu_{\Pi}$	0,582	0,021	0,920
$C_{кр} = -1,13 + 1,456\varepsilon_3$	0,607	0,020	0,950
$C_{кр} = -0,147 + 0,154\nu_{*\Pi}$	0,720	0,018	0,990
$C_{кр} = 0,4 - 0,147H$	- 0,514	0,024	0,900
$C_{кр} = -0,103 + 0,137h_p$	0,742	0,018	0,990

Експериментальні дослідження  $C_{кр}$  від  $\nu_{\Pi}$ ,  $\varepsilon_3$  і  $\nu_{*\Pi}$  відповідає теоретичним [1], так як при збільшенні питомих витрат кисневого дуття

підвищується потік окисника у напрямку поверхні металу. Характер залежності  $C_{кр} = f(H)$  можна пояснити, напевно тим, що з підвищенням відстані кінцевика фурми до рівня спокійної ванни зменшується потік кисню у напрямку поверхні металу внаслідок підвищення ступеню допалювання CO у CO<sub>2</sub>. При цьому інтенсивність перемішування ванни зменшується. Розкид експериментальних точок, який характеризується показником  $\sigma$ , вказує на відмінність реального процесу від моделі, що пов'язане з непостійністю умов плавки і відхиленнях параметрів від середніх значень. Але зміна “критичної” частки вуглецю впливає на хід кривої несуттєво згідно (1). Це не означає, що цю залежність можна вважати незмінною. Навпаки, необхідно її періодично коректувати у міру зміни технології виробництва, футерівки конвертера, конструкції кінцевика фурми і інших факторів.

Аналізуючи рівняння (5) та (6), можливо сказати, що перше враховує вплив потоку кисню на швидкість зневуглецювання як у початковому, так і у кінцевому періоді, а друге лише у початковому. Дослідження, які ми провели показали, що і при низькому вмісті вуглецю швидкість зневуглецювання зростає з підвищенням питомих витрат кисню (рис.1). Це добре узгоджується з рівнянням (5) і практикою конвертерного процесу.

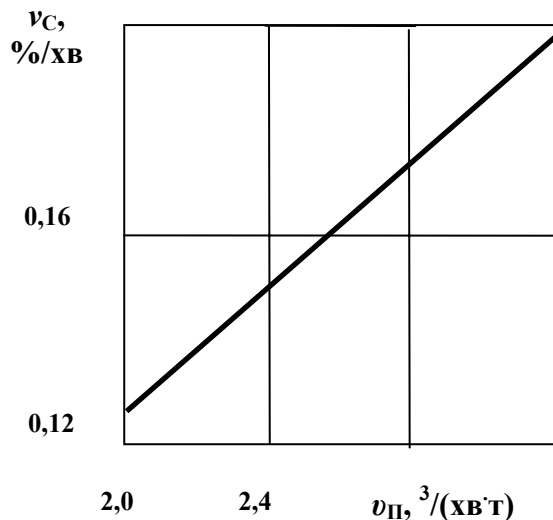


Рисунок 1 – Графік залежності швидкості зневуглецювання від питомих витрат кисню у ванні 0,16 % ( $r = 0,584$ ;  $\sigma = 0,011\%/хв$ ;  $P > 0,950$ ).

Таким чином, для визначення частки вуглецю у ванні конвертера доцільно використовувати рівняння (1), функціональна залежність у якому для початкового періоду визначається рівнянням (2), а для кінцевого – рівнянням (6).

Визначення часу припинення продувки конвертера на заданій частці вуглецю у металі шляхом визначення функціональної залежності останньої від об'єму витраченого кисню, маси брухту і чавуну на продувку з врахуванням швидкості зневуглецювання ванни від тиску кисню, витрат охолоджуючих матеріалів, тривалості продувки і теплових втрат має велику похибку на плавках з порушенням технологічного режиму.

Вимірювання і ідентифікація тиску газової фази дає можливість слідкувати за динамікою вигорання вуглецю у ванні, що дозволяє використовувати цей параметр для керування продувкою і визначенні часу її припинення на заданій масовій частці вуглецю.

При зміні швидкості вигорання вуглецю з великою частотою, тобто при квазірівномірній швидкості, спостерігається висока швидкість засвоєння кисню, тому було запропоновано додатково вимірювати інтенсивність виділення газів з конвертера по інформації про тиск газів, що відходять у перехідному газоході і коректувати сумарний об'єм кисню на продувку в залежності від середнього значення частоти зміни газовиділення (рис.2).

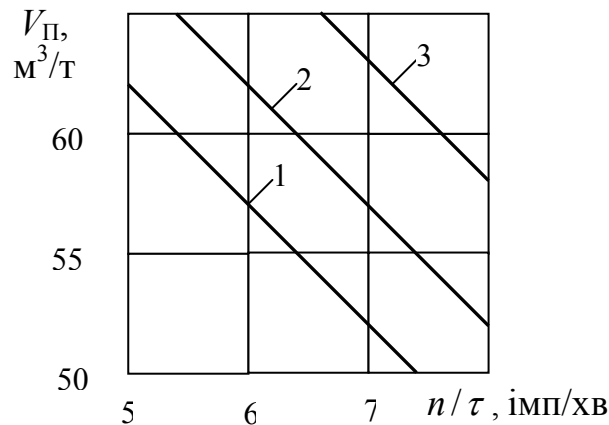


Рисунок 2 – Графік залежності питомого об'єму кисню від середнього значення частоти зміни інтенсивності газовиділення при різних частках вуглецю у ванні, %: 1 – 0,60; 2 – 0,20; 3 – 0,60.

Наприклад, відповідно до завдання необхідно виплавити метал з масовою часткою вуглецю 0,20 (рис.2, 2). Середнє значення частоти газовиділення до моменту припинення продувки склало  $n/\tau = 6$  імп/хв. У цьому випадку продувку припиняють після подачі питомого об'єму кисню  $V_{\text{П}} = 61,5$  м<sup>3</sup>/т чавуну.

## Література

1. Баптизманский В.И. Теория кислородно-конвертерного процесса. – М.: Металлургия, 1975. – 376 с.
2. 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.
3. Богушевский В.С., Сухенко В.Ю. Критерий управления конвертерной плавкой // Новости науки Приднепровья. – 2008. – № 3-4. – С. 104 – 106.
4. 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.
5. Меджибожский М.Я. Основы термодинамики и кинетики сталеплавильных процессов. – К. – Донецк: Вища школа, 1986. – 280 с.