



УКРАЇНА

(19) UA (11) 63485 (13) U
(51) МПК (2011.01)
C21B 5/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ КОНТРОЛЮ КОЛИВАННЯ ОКИСНЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ЧАВУНУ НА ФУРМАХ ДОМЕННОЇ ПЕЧІ

1

2

(21) u201103126

(22) 17.03.2011

(24) 10.10.2011

(46) 10.10.2011, Бюл.№ 19, 2011 р.

(72) ДОВГАЛЮК БОРИС ПЕТРОВИЧ

(73) ДНІПРОДЗЕРЖИНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

(57) 1. Спосіб контролю коливання окиснення елементів чавуну на фурмах доменної печі, що включає вимірювання температури фурмених вогнищ (або температури в шахті) і розрахунок теоретичної температури горіння, який **відрізняється** тим, що вираховують різницю між теоретичною температурою горіння (t_m) і температурою фурмених вогнищ (t_{ϕ}) - $\Delta t = t_m - t_{\phi}$ [або між теоретичною температурою горіння (t_m) і температурою в шахті (T_3) - $\Delta t_1 = t_m - T_3$] і через 10, 20, 30, 40,...,60 хвилин порівнюють її з попереднім значенням і визна-

чають різницю $\Delta = \Delta t(t) - \Delta t(t-1)$ [або

$\Delta_1 = \Delta t_1(t) - \Delta t_1(t-1)$], за якою визначають коливання процесу окиснення елементів чавуну на фурмах та його міру.

2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що за позитивним значенням Δ (або Δ_1) визначають зменшення окиснення елементів чавуну на фурмах, а за негативним значенням Δ (або Δ_1) визначають збільшення окиснення елементів чавуну на фурмах.

3. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що за значенням Δ (або Δ_1) визначають міру зміни окиснення за формулою:

$$\Delta z = -\frac{30\Delta}{400} \text{ або } \Delta z = -\frac{30\Delta_1}{400}.$$

Корисна модель належить до чорної металургії, зокрема до доменного виробництва, і може бути використана для стабілізації теплового стану доменної плавки.

Через окиснювальну зону фурмених вогнищ опускається основна маса рідких продуктів плавки. При цьому значна частина елементів чавуну окиснюється, а потім відновлюється твердим вуглецем нижче фурм. Окиснення елементів чавуну на фурмах супроводжується виділенням значно більшої кількості тепла ніж при окисненні вуглецю, внаслідок чого підвищується температура фурмених вогнищ. Тільки частина цього тепла засвоюється створеними оксидами елементів чавуну та рідкими продуктами плавки, які стікають в горн. Тому вторинне пряме відновлення цих оксидів супроводжується похолоданням горну. Стабільна кількість окиснених елементів не впливає на тепловий стан процесу в цілому, оскільки тепло від окиснення елементів чавуну на фурмах не втрачається, а засвоюється в шахті шихтовими матеріалами і через час їх опускання в горн повертається у вигляді підвищеної температури цих матеріалів.

Нашими дослідженнями виявлено суттєве коливання процесу окиснення елементів чавуну на фурмах [1], що викликає непередбачену зміну теплового стану горну і вмісту в чавуні кремнію та сірки. Саме ці коливання спричиняють перешкоди достовірному прогнозуванню теплового стану горну і якості чавуну за допомогою автоматизованих систем, знижуючи ефективність їх використання.

На сьогодні коливання окиснення елементів чавуну на фурмах доменної печі не контролюються. Розробка способу контролю коливання окиснення елементів чавуну на фурмах дозволить вчасно передбачати можливі зміни складу чавуну і його температури та приймати керуючі дії по їх стабілізації, а також підвищити ефективність функціонування автоматизованих систем контролю і стабілізації теплового режиму доменної плавки, що поліпшить якість чавуну та зменшить витрату енергоносіїв.

Відомий спосіб контролю окиснення елементів чавуну на фурмах [1]. Спосіб полягає в тому, що вимірюють температуру в шахті доменної печі, за

(13) U

(11) 63485

(19) UA

зміною якої визначають коливання окиснення елементів чавуну.

Недоліком цього способу є те, що за інформацією тільки про температуру в шахті не можна визначити коливання окиснення елементів чавуну, оскільки температура в шахті змінюється не тільки від коливання окиснення елементів чавуну, але і від коливання загального теплового стану процесу.

Відомий також спосіб контролю окиснення елементів чавуну на фурмах [2]. Спосіб полягає в тому, що через кожні 10 хвилин визначають зміну усереднених за 10 хвилин значень температури фурмених вогнищ $\Delta t_{\text{ф}}$, теоретичної температури горіння $\Delta t_{\text{г}}$, суми $(\text{CO} + \text{CO}_2)$ в колошниковому газі $\Delta \Sigma$ і температури в шахті $\Delta T_{\text{н}}$.

Якщо $\Delta t_{\text{ф}} > 50^\circ\text{C}$, $\Delta t_{\text{г}} < 50^\circ\text{C}$, $\Delta T_{\text{н}} > 30^\circ\text{C}$, а $\Delta \Sigma < -0,5\%$, то вважають, що збільшилося окиснення елементів чавуну на фурмах. Якщо ж $\Delta t_{\text{ф}} < -50^\circ\text{C}$, $\Delta t_{\text{г}} > -50^\circ\text{C}$, $\Delta T_{\text{н}} < -30^\circ\text{C}$, $\Delta \Sigma > 0,5\%$, то вважають, що зменшилося окиснення елементів чавуну на фурмах.

Недоліком цього способу є те, що він не дозволяє чітко визначати коливання окиснення елементів чавуну на фурмах за зміною суми $(\text{CO} + \text{CO}_2)$ в колошниковому газі. Наприклад, під час збільшення окиснення елементів чавуну на фурмах виявити зменшення суми $(\text{CO} + \text{CO}_2)$ в колошниковому газі майже не можливо, оскільки через короткий час починається пряме відновлення утворених на фурмах оксидів і починається збільшення суми $(\text{CO} + \text{CO}_2)$. І навпаки, під час зменшення окиснення елементів чавуну на фурмах виявити збільшення суми $(\text{CO} + \text{CO}_2)$ в колошниковому газі також не можливо, оскільки через короткий час почнеться пряме відновлення зменшеної кількості утворених на фурмах оксидів і зменшення суми $(\text{CO} + \text{CO}_2)$. До того ж, цей спосіб не дозволяє визначити міру зміни окиснення елементів чавуну на фурмах.

Найбільш близьким за технічною суттю й результатом, що досягається, аналогом технічного рішення, що заявляється, прийнятим за прототип, є відомий спосіб контролю коливання окиснення елементів чавуну на фурмах доменної печі [3]. За цим способом через кожні 10 хвилин визначають зміну усереднених за 10 хвилин значень температури фурмених вогнищ $\Delta t_{\text{ф}}$, теоретичної температури горіння $\Delta t_{\text{г}}$, суми $(\text{CO} + \text{CO}_2)$ в колошниковому газі $\Delta \Sigma$ і температури в шахті $\Delta T_{\text{н}}$. Якщо $\Delta t_{\text{ф}} > 50^\circ\text{C}$, $\Delta t_{\text{г}} < 50^\circ\text{C}$, $\Delta T_{\text{н}} > 30^\circ\text{C}$, а $\Delta \Sigma < -0,5\%$, то вважають, що збільшилося окиснення елементів чавуну на фурмах. Якщо ж $\Delta t_{\text{ф}} < -50^\circ\text{C}$, $\Delta t_{\text{г}} > -50^\circ\text{C}$, $\Delta T_{\text{н}} < -30^\circ\text{C}$, $\Delta \Sigma > 0,5\%$, то вважають, що зменшилося окиснення елементів чавуну на фурмах. Міру зміни окиснення заліза визначають за різницею між температурою фур-

мених вогнищ $t_{\text{ф}}$ і теоретичною температурою горіння $t_{\text{г}}$ як $\Delta = t_{\text{ф}} - t_{\text{г}}$.

Недоліком цього способу є те, що він, як і попередній спосіб, не дозволяє чітко визначати коливання окиснення елементів чавуну на фурмах за зміною суми $(\text{CO} + \text{CO}_2)$ в колошниковому газі, а також те, що міра зміни окиснення визначається за різницею між температурою фурмених вогнищ і

теоретичною температурою горіння $\Delta = t_{\text{ф}} - t_{\text{г}}$. В реальних умовах доменної плавки дійсна температура, якою є температура фурмених вогнищ, завжди нижча теоретичної температури горіння [4] і різниця між ними не може характеризувати міру окиснення елементів чавуну.

Теоретична температура горіння на фурмах $t_{\text{г}}$ - це температура, яка може бути під час горіння вуглецю до його оксиду при відсутності теплообміну з оточуючим середовищем. В реальних умовах в значній мірі відбувається теплообмін між газовою фазою і рідкими продуктами плавки і тому дійсна температура завжди нижче теоретичної. Максимальна різниця між теоретичною температурою горіння і температурою оболонки фурмених вогнищ $t_{\text{ф}}$ ($\Delta t = t_{\text{г}} - t_{\text{ф}}$) може бути в межах $250 - 450^\circ\text{C}$ [4].

Головною причиною зміни різниці між теоретичною і дійсною температурами фурмених вогнищ є окиснення елементів чавуну на фурмах. Так, окиснення 25 % заліза чавуну на фурмах спричиняє підвищення температури горнових газів на 281°C [4].

Задачею корисної моделі є розробка способу контролю коливання окиснення елементів чавуну на фурмах, що дозволить з достатньою точністю оперативно виявляти початок та кінець зміни окиснення та його величину.

Технічний результат, що досягається при використанні корисної моделі, полягає в підвищенні точності прогнозування якості чавуну оперативним персоналом печі та в підвищенні ефективності функціонування автоматизованих систем керування тепловим станом доменної плавки, а також в можливості оптимізації якості чавуну, зменшенні витрат енергоносіїв та збільшенні продуктивності печі.

Поставлена задача вирішується тим, що, шляхом постійного вимірювання температури фурмених вогнищ $t_{\text{ф}}$, (або температури в шахті печі T_3),

розрахунку теоретичної температури горіння $t_{\text{г}}$ та визначення різниці між теоретичною температурою горіння і температурою фурмених вогнищ $\Delta t = t_{\text{г}} - t_{\text{ф}}$ (або $\Delta t_1 = t_{\text{г}} - T_3$), визначають зміну цієї різниці в порівнянні з попереднім значенням за час $(t - 1)$ $\Delta = \Delta t(t) - \Delta t(t - 1)$ або $\Delta_1 = \Delta t_1(t) - \Delta t_1(t - 1)$, від'ємне значення якої свідчить про збільшення окиснення, а додатне - про зменшення окиснення елементів чавуну на фур-

мах, а міру зміни окиснення ΔZ в % визначають за формулою:

$$\Delta Z = -\frac{30\Delta}{400} \quad \text{або} \quad \Delta Z = -\frac{30\Delta_1}{400}$$

Порівняння з прототипом показує, спосіб, що заявляється, відрізняється тим, що спочатку визначають різниці між теоретичною температурою горіння і температурою фурмених вогнищ $\Delta t = t_m - t_{\Phi}$ (або між теоретичною температурою

горіння і температурою в шахті $\Delta t_1 = t_m - T_3$), а потім визначають зміну цієї різниці в порівнянні з попереднім значенням за час $(t-1)$

$$\Delta = \Delta t(t) - \Delta t(t-1) \quad \text{або} \quad \Delta_1 = \Delta t_1(t) - \Delta t_1(t-1)$$

Від'ємне значення Δ (Δ_1) свідчить про те, що різниця між теоретичною температурою горіння і температурою фурмених вогнищ Δt (Δt_1) зменшилася внаслідок підвищення температури фурмених вогнищ за рахунок збільшення окиснення елементів чавуну на фурмах. Додатне значення Δ (Δ_1) свідчить про те, що різниця між теоретичною температурою горіння і температурою фурмених вогнищ Δt (Δt_1) збільшилася внаслідок зниження температури фурмених вогнищ за рахунок зменшення окиснення елементів чавуну на фурмах.

Міра зміни окиснення ΔZ пропорційна значенню Δ (Δ_1) і визначаються як

$$\Delta Z = -\frac{30\Delta}{400} \quad \text{або} \quad \Delta Z = -\frac{30\Delta_1}{400}$$

За прототипом міру зміни окиснення заліза визначають за різницею між температурою фурмених вогнищ t_{Φ} і теоретичною температурою горіння t_m як $\Delta = t_{\Phi} - t_m$, тобто за формулою, яка не відображає зміни окиснення елементів чавуну.

Таким чином, у наявності причинно-наслідковий зв'язок між сукупністю істотних відмітних ознак запропонованого способу контролю колювання окиснення елементів чавуну на фурмах доменної печі і технічними результатами, що можливо одержати при використанні корисної моделі в чорній металургії під час керування тепловим режимом доменної плавки.

Запропонований спосіб контролю колювання окиснення елементів чавуну на фурмах доменної печі реалізують наступним чином.

Вимірюють значення технологічних параметрів: витрата дуття V_d , природного газу $V_{пг}$, пило-вугільного палива $V_{пвп}$, пари на зволоження дуття V_n технологічного кисню V_o ; температура фурмених вогнищ (якщо температура фурмених вогнищ не контролюється, то вимірюють температуру в середині шахти печі за допомогою спеціального

зонда T_3 , наприклад такого, що наведено в [1]); температура дуття t_d , його вологість λ та вміст ньому кисню ω .

З усередненої інформації за 10 хв. визначають середню температуру фурмених вогнищ t_{Φ} або температуру в шахті T_3 ; розраховують теоретичну температуру горіння t_m і різницю між теоретичною температурою горіння і середньою температурою фурмених вогнищ:

$$\Delta t = t_m - t_{\Phi}; \quad (1)$$

При відсутності інформації про температуру фурмених вогнищ визначають різницю між теоретичною температурою горіння і температурою в шахті T_3 :

$$\Delta t_1 = t_m - T_3. \quad (2)$$

Через 20 хв. за кожні 10 хв. визначають приріст усереднених за 10 хв. значень Δt або Δt_1 :

$$\Delta = \Delta t(t) - \Delta t(t-1);$$

$$\Delta_1 = \Delta t_1(t) - \Delta t_1(t-1).$$

Аналізують значення усереднених за 10 хв. параметрів Δ або (Δ_1):

а) при наявності інформації про температуру фурмених вогнищ:

якщо $\Delta < -30^\circ\text{C}$, то вважають, що збільшилось окиснення елементів чавуну на фурмах;

якщо $\Delta > 30^\circ\text{C}$, то вважають, що зменшилось окиснення елементів чавуну на фурмах;

б) при відсутності інформації про температуру фурмених вогнищ:

якщо $\Delta_1 < -30^\circ\text{C}$, то вважають, що збільшилось окиснення елементів чавуну на фурмах;

якщо $\Delta_1 > 30^\circ\text{C}$, то вважають, що зменшилось окиснення елементів чавуну на фурмах.

Визначають міру зміни окиснення елементів чавуну на фурмах ΔZ (в %):

$$\Delta Z = -\frac{30\Delta}{400}; \quad (3)$$

при відсутності інформації про температуру фурмених вогнищ

$$\Delta Z = -\frac{30\Delta_1}{400}. \quad (4)$$

Наведені операції алгоритму виконуються також за усередненою інформацією за кожні 20, 30, 60 хв. та за час між випусками чавуну (див. таблицю).

Виявлені коливання окиснення елементів чавуну на фурмах видають оператору печі для аналізу та прийняття заходів по їх компенсації та стабілізації якості чавуну.

Таблиця.

Приклади визначення значень Δ , Δ_1 , Δz .

$t_m, ^\circ\text{C}$	2000	2050	2100	2000	1900	1800	2000	2200	2300
$t_\phi, ^\circ\text{C}$	1700	1850	1950	2050	2050	2100	2100	2100	2100
$\Delta t, ^\circ\text{C}$	300	200	150	-50	-150	-300	-100	100	200
$\Delta, ^\circ\text{C}$		-100	-50	-200	-100	-150	200	200	100
$T_3, ^\circ\text{C}$	700	850	950	1050	1050	1100	1100	1100	1100
$\Delta t_1, ^\circ\text{C}$	1300	1200	1150	950	850	700	900	1100	1200
$\Delta_1, ^\circ\text{C}$		-100	-50	-200	-100	-150	200	200	100
$\Delta z, \%$		7,5	3,75	15	7,5	11,25	-15	-15	-7,5
Час	8-00	8-10	8-20	8-30	8-40	8-50	9-00	9-10	9-20.

На 8-му годину:

$$t_m = 2000^\circ\text{C}, t_\phi = 1700^\circ\text{C}, T_3 = 700^\circ\text{C}, \Delta t = 2000 - 1700 = 300^\circ\text{C} \Delta t_1 = 2000 - 700 = 1300^\circ\text{C}.$$

На 8 год. 10 хв.:

$$t_m = 2050^\circ\text{C}, t_\phi = 1850^\circ\text{C}, T_3 = 850^\circ\text{C}, \Delta t = 2050 - 1850 = 200^\circ\text{C} \Delta t_1 = 2050 - 850 = 1200^\circ\text{C},$$

$$\Delta = 200 - 300 = -100^\circ\text{C}, \Delta_1 = 1200 - 1300 = -100^\circ\text{C}, \Delta z(\Delta z_1) = -[30 \cdot (-100 / 400)] = 7,5\%.$$

На 8 год. 20 хв.:

$$t_m = 2100^\circ\text{C}, t_\phi = 1950^\circ\text{C}, T_3 = 950^\circ\text{C}, \Delta t = 2100 - 1950 = 150^\circ\text{C} \Delta t_1 = 2100 - 950 = 1150^\circ\text{C},$$

$$\Delta = 150 - 200 = -50^\circ\text{C}, \Delta_1 = 1150 - 1200 = -50^\circ\text{C}, \Delta z(\Delta z_1) = -[30 \cdot (-50 / 400)] = 3,75\%.$$

На 8 год. 30 хв.:

$$t_m = 2000^\circ\text{C}, t_\phi = 2050^\circ\text{C}, T_3 = 1050^\circ\text{C}, \Delta t = 2000 - 2050 = -50^\circ\text{C} \Delta t_1 = 2000 - 1050 = 950^\circ\text{C},$$

$$\Delta = -50 - 150 = -200^\circ\text{C}, \Delta_1 = 950 - 1150 = -200^\circ\text{C}, \Delta z(\Delta z_1) = -[30 \cdot (-200 / 400)] = 15\%.$$

На 8 год. 40 хв.:

$$t_m = 1900^\circ\text{C}, t_\phi = 2050^\circ\text{C}, T_3 = 1050^\circ\text{C}, \Delta t = 1900 - 2050 = -150^\circ\text{C} \Delta t_1 = 1900 - 1050 = 850^\circ\text{C},$$

$$\Delta = -150 - (-50) = -100^\circ\text{C}, \Delta_1 = 850 - 950 = -100^\circ\text{C}, \Delta z(\Delta z_1) = -[30 \cdot (-100 / 400)] = 7,5\%.$$

На 8 год. 50 хв.:

$$t_m = 1800^\circ\text{C}, t_\phi = 2100^\circ\text{C}, T_3 = 1100^\circ\text{C}, \Delta t = 1800 - 2100 = -300^\circ\text{C} \Delta t_1 = 1800 - 1100 = 700^\circ\text{C},$$

$$\Delta = -300 - (-150) = -150^\circ\text{C}, \Delta_1 = 700 - 850 = -150^\circ\text{C}, \Delta z(\Delta z_1) = -[30 \cdot (-150 / 400)] = 11,25\%.$$

На 9 год. 00 хв.:

$$t_m = 2000^\circ\text{C}, t_\phi = 2100^\circ\text{C}, T_3 = 1100^\circ\text{C}, \Delta t = 2000 - 2100 = -100^\circ\text{C} \Delta t_1 = 2000 - 1100 = 900^\circ\text{C},$$

$$\Delta = -100 - (-300) = +200^\circ\text{C}, \Delta_1 = 900 - 700 = 200^\circ\text{C}, \Delta z(\Delta z_1) = -[30 \cdot (+200 / 400)] = -15\%.$$

На 9 год. 10 хв.:

$$t_m = 2200^\circ\text{C}, t_\phi = 2100^\circ\text{C}, T_3 = 1100^\circ\text{C}, \Delta t = 2200 - 2100 = 100^\circ\text{C} \Delta t_1 = 2200 - 1100 = 1100^\circ\text{C},$$

$$\Delta = 100 - (-100) = +200^\circ\text{C}, \Delta_1 = 1100 - 900 = 200^\circ\text{C}, \Delta z(\Delta z_1) = -[30 \cdot (+200 / 400)] = -15\%.$$

На 9 год. 20 хв.:

$$t_m = 2300^\circ\text{C}, t_\phi = 2100^\circ\text{C}, T_3 = 1100^\circ\text{C}, \Delta t = 2300 - 2100 = 200^\circ\text{C} \Delta t_1 = 2300 - 1100 = 1200^\circ\text{C},$$

$$\Delta = 200 - 100 = +100^\circ\text{C}, \Delta_1 = 1200 - 1100 = 100^\circ\text{C}, \Delta z(\Delta z_1) = -[30 \cdot (+100 / 400)] = -7,5\%.$$

Впровадження запропонованого способу контролю коливання окиснення елементів чавуну на фурмах доменної печі дозволить стабілізувати якість чавуну, заощадити витрату енергоносіїв на 1-1,2 % та збільшити продуктивність доменних печей на 1-1,2 %.

Джерела інформації:

1. Исследование взаимосвязи между температурой в шахте доменной печи и параметрами процесса / Б. П. Довгалюк, А. И. Парфенов Н. М.

Ярошенко и др.//Сталь, 1975. - № 12. - С. 1073-1075.

2. Довгалюк Б. П. Контроль колебания окисления элементов чугуна на фурмах доменной печи.// Творческое наследие Б. И. Китаева: труды Международ. Науч. - практ. конф. 11-14 февраля 2009 г. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009. - С. 282-286.

3. Довгалюк Б. П. Контроль коливання окиснення елементів чавуну на фурмах доменної печі/ Довгалюк Б. П. // Збірник наукових праць Дніпро-

дзержинського державного технічного університету. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2008. - С. 27-34

4. Ярошевский С. Л., Бачинин А. А. и Попов Н. Н. Анализ взаимосвязи между теоретической тем-

пературой горения и действительными температурами в горне доменной печи.// Металлургия чугуна: сб. трудов ДонНИИЧЕРМЕТ, вып. 8, М.: Металлургия, 1969. - С. 145-155.