



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **99056** (13) **C2**
(51) МПК (2012.01)

C21B 5/00

C21B 7/24 (2006.01)

F27B 1/00

G01N 33/20 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(21) Номер заявки: **а 2011 04796**

(22) Дата подання заявки: **18.04.2011**

(24) Дата, з якої є чинними
права на винахід: **10.07.2012**

(41) Публікація відомостей
про заявку: **10.01.2012, Бюл.№ 1**

(46) Публікація відомостей
про видачу патенту: **10.07.2012, Бюл.№ 13**

(72) Винахідник(и):

**Большаков Вадим Іванович (UA),
Муравйова Ірина Геннадіївна (UA),
Семенов Юрій Станіславович (UA),
Шумельчик Євген Ігорович (UA),
Пінчук Денис Валерійович (UA)**

(73) Власник(и):

**ІНСТИТУТ ЧОРНОЇ МЕТАЛУРГІЇ
НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК
УКРАЇНИ,**

пл. Академіка Стародубова, 1, м.
Дніпропетровськ, 49050, Україна (UA)

(56) Перелік документів, взятих до уваги
експертизою:

UA, 82305, C2, 25.03.2008

Гиммельфарб А. А., Ефименко Г. Г.,
Автоматическое управление доменным
процессом. – М.: Metallurgiya. – 1969. – С.
146 – 149

SU, 381996, A, 22.05.1973

RU, 2154672, C1, 20.08.2000

JP, 60251204, A, 11.12.1985

JP, 61149412, A, 08.07.1986

JP, 61254853, A, 12.11.1986

Tathagata Bhattacharya. Prediction of silicon
content in blast furnace hot metal using partial
least squares (PLS) // ISIJ International. – Vol.
45. – 2005. – No 12. – P. 1943 – 1945

(54) СПОСІБ ПРОГНОЗУВАННЯ ВМІСТУ КРЕМНІЮ У ЧАВУНІ

(57) Реферат:

Винахід належить до галузі чорної металургії, зокрема до доменного виробництва. Спосіб включає визначення технологічних параметрів доменної плавки, в процесі якої визначають прогнозний вміст кремнію у чавуні відповідно до виразу, наведеного у описі винаходу. Винахід дозволяє оперативно виявити і оцінювати відхилення теплового стану доменної печі від запланованого, і спрямований на зниження коливання вмісту кремнію у чавуні.

UA 99056 C2

Винахід належить до галузі чорної металургії, зокрема до доменного виробництва, і може бути використаний для управління тепловим станом доменних печей, обладнаних завантажувальними пристроями різного типу і оснащених засобами вимірювання профілю поверхні засипу.

5 Тепловий стан доменної печі визначає головний показник економічності процесу - витрату коксу. Побічно він визначає також продуктивність печі і хімічний склад виплавленого чавуну. Тому оцінка зміни теплового стану доменної печі є однією з основних задач ведення процесу плавки.

10 Основним показником, за допомогою якого оцінюють зміну теплового стану печі, є вміст кремнію у чавуні на випуску з доменної печі. У зв'язку з цим, можливість прогнозування вмісту кремнію у чавуні задовго до його випуску, є важливим етапом до здійснення регулювання теплового стану доменної печі.

15 Відомий спосіб регулювання теплового стану доменної печі [1], що включає визначення технологічних параметрів доменної плавки, в процесі якої в доменну піч порціями через колошник завантажують шихтові матеріали, та здійснюють оперативний контроль хімічного складу чавуну з визначенням поточних його значень на випуску продуктів плавки.

20 Спосіб заснований на аналізі теплового та матеріального балансу всієї доменної печі та нижньої зони з урахуванням зсуву в часі між перебігом реакцій непрямого і прямого відновлення в одному об'ємі шихтових матеріалів. Балансові рівняння, запропоновані для прогнозування вмісту кремнію у чавуні, включають тільки ті статті теплового балансу, які можливо розрахувати, використовуючи безперервно контрольовані параметри.

25 Недоліком відомого способу прогнозування вмісту кремнію у чавуні є те, що він може бути використаний тільки в умовах усталеного процесу при сталості кількості і характеристик шихтових матеріалів, параметрів дуттьового режиму, теплових та фізико-хімічних процесів в печі. Для процесів доменної плавки характерна велика інерційність, при якій процеси весь час знаходяться в перехідних режимах, тому використання відомого способу можливо тільки при усередненні статей надходження і витрат за певний проміжок часу, який, як правило, становить декілька діб, причому цей проміжок часу тим більш тривалий, чим більш інерційний процес.

30 Найбільш близьким за технічною суттю до способу, що заявляється, і результату, що досягається, є відомий спосіб прогнозування вмісту кремнію у чавуні, який включає визначення технологічних параметрів доменної плавки, в процесі якої в доменну піч, обладнану засобами вимірювання відстані від технологічного нуля до поверхні засипу, порціями через колошник завантажують шихтові матеріали, здійснення оперативного контролю хімічного складу чавуну з визначенням поточних його значень на випуску продуктів плавки, після завантаження кожної порції шихтових матеріалів, вимірювання відстані від технологічного нуля до поверхні засипу в осевій зоні перерізу колошника доменної печі за допомогою радіолокаційного профілеміра і проміжку часу між завантаженням кожної порції шихтових матеріалів, визначення швидкості їх опускання в осевій зоні після вивантаження в доменну піч кожної порції шихти, а також середніх значень цих швидкостей протягом заданого часового інтервалу, рівного одній годині, встановлення різниці середніх значень швидкостей опускання шихтових матеріалів в осевій зоні перерізу колошника доменної печі, виміряних на початку та в кінці заданого часового інтервалу протягом конкретного часового періоду, що дорівнює 3-5 годинам, і поточних значень вмісту кремнію у чавуні на випуску продуктів плавки по закінченні заданого часового інтервалу, встановлення прогнозних значень вмісту кремнію у чавуні після закінчення конкретного часового періоду виходячи із залежності:

$$[\text{Si}]_{\text{прогн}} = [\text{Si}]_{\text{пот}} + \sum \Delta V_{\text{ц}} \cdot \Delta [\text{Si}]_{\text{вц}}, \%,$$

де $[\text{Si}]_{\text{прогн}}$ - прогнозне значення вмісту кремнію у чавуні, мас. %,

$[\text{Si}]_{\text{пот}}$ - поточне значення вмісту кремнію у чавуні на випуску, мас. %,

50 $\sum \Delta V_{\text{ц}}$ - сума різниць середніх значень швидкостей опускання шихти в осевій зоні перерізу колошника печі, м/год.,

$\Delta [\text{Si}]_{\text{вц}}$ - зміна вмісту кремнію у чавуні на одиницю швидкості опускання шихти,

встановлення величини зміни вмісту кремнію у чавуні на одиницю швидкості опускання шихти для меж зміни поточного вмісту кремнію у чавуні на випуску - 0,60-1,20 мас. % рівної

$$\frac{\% \cdot \text{год}}{(0,000135-0,000077)}^{\text{м}} \quad [2].$$

55 Недоліком відомого способу прогнозування вмісту кремнію у чавуні є те, що він не враховує вплив на прогнозну величину кремнію ряду технологічних показників плавки, який не відбивається на зміні швидкості опускання шихти.

Завдання, вирішуване винаходом, полягає в розробці способу прогнозування вмісту кремнію у чавуні, який дозволяє оперативно виявляти і оцінювати відхилення теплового стану доменної печі від запланованого, і спрямованого на зниження коливання вмісту кремнію у чавуні.

Технічний результат, що досягається при використанні винаходу, полягає в підвищенні оперативності прогнозування вмісту кремнію у чавуні в умовах виробництва, які змінюються при виплавці чавуну в доменних печах, обладнаних завантажувальними пристроями будь-якої конструкції, а також можливості оптимізації теплового режиму доменної печі та забезпеченні зменшення витрати коксу на виплавку чавуну.

Вирішення поставленої задачі досягається тим, що в способі прогнозування вмісту кремнію у чавуні, який включає визначення технологічних параметрів доменної плавки, в процесі якої в доменну піч, обладнану засобами вимірювання відстані від технологічного нуля до поверхні засипу, порціями через колошник завантажують шихтові матеріали та здійснюють оперативний контроль хімічного складу чавуну з визначенням поточних його значень на випуску продуктів плавки, після завантаження кожної порції шихтових матеріалів вимірювання відстані від технологічного нуля до поверхні засипу в осьовій зоні перерізу колошника доменної печі за допомогою радіолокаційного профілеміра і проміжку часу між завантаженням кожної порції шихтових матеріалів, визначення швидкості їх опускання в осьовій зоні після вивантаження в доменну піч кожної порції шихтових матеріалів, а також середніх значень цих швидкостей протягом заданого часового інтервалу, рівного одній годині, визначають середньогодинний вміст пари у дутті на момент прогнозування, середньогодинне рудне навантаження за 3 години і за 6 годин до прогнозування, розраховують середньогодинну теоретичну температуру горіння на момент прогнозування, при цьому прогнозний вміст кремнію у чавуні визначають відповідно до виразу:

$$[\text{Si}]_{\text{прогн}} = a \cdot V^{\text{ш}} + b \cdot T_f + c \cdot [\text{Si}]_{\text{пот}} + d \cdot (V^{\text{ш}})^2 + e \cdot [\text{Si}]_{\text{пот}}^2 + f \cdot (\text{PH}_{\text{пот-6год}}) + g \cdot (\text{PH}_{\text{пот-3год}}) + h \cdot Q_{\text{п}} + i \cdot ([\text{Si}]_{\text{пот-3год}}) + j \cdot (\Delta V^{\text{ш}})^2 + k,$$

де $[\text{Si}]_{\text{прогн}}$ – прогнозне значення вмісту кремнію у чавуні, мас. %,

$V^{\text{ш}}$ – середньогодинна швидкість опускання шихти в осьовій зоні колошника на момент прогнозування, м/хв.,

$\Delta V^{\text{ш}}$ – різниця середньогодинної швидкості опускання шихти в осьовій зоні колошника на момент прогнозування та її зміни за 3 години до прогнозування, м/хв.,

$[\text{Si}]_{\text{пот}}$ – середньогодинна величина вмісту кремнію у чавуні на момент прогнозування, мас. %,

$[\text{Si}]_{\text{пот-3год}}$ – середньогодинна величина вмісту кремнію у чавуні за 3 години до прогнозування, мас. %,

$Q_{\text{п}}$ – середньогодинний вміст пари у дутті на момент прогнозування, т/год.,

T_f – середньогодинна теоретична температура горіння на момент прогнозування, °C,

$(\text{PH}_{\text{пот-3год}})$ – середньогодинне рудне навантаження за 3 години до прогнозування, т/т,

$(\text{PH}_{\text{пот-6год}})$ – середньогодинне рудне навантаження за 6 годин до прогнозування, т/т,

$a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k$ – коефіцієнти, значення яких визначають за допомогою регресійного аналізу.

Порівняння з найближчим аналогом показує, що спосіб, який заявляється, відрізняється тим, що в ході плавки визначають середньогодинний вміст пари у дутті на момент прогнозування, середньогодинне рудне навантаження за 3 години і за 6 годин до прогнозування, розраховують середньогодинну теоретичну температуру горіння на момент прогнозування, визначають прогнозний вміст кремнію у чавуні відповідно до виразу:

$$[\text{Si}]_{\text{прогн}} = a \cdot V^{\text{ш}} + b \cdot T_f + c \cdot [\text{Si}]_{\text{пот}} + d \cdot (V^{\text{ш}})^2 + e \cdot [\text{Si}]_{\text{пот}}^2 + f \cdot (\text{PH}_{\text{пот-6год}}) + g \cdot (\text{PH}_{\text{пот-3год}}) + j \cdot (\Delta V^{\text{ш}})^2 + k,$$

де $[\text{Si}]_{\text{прогн}}$ – прогнозне значення вмісту кремнію у чавуні, %;

$V^{\text{ш}}$ – середньогодинна швидкість опускання шихти в осьовій зоні колошника на момент прогнозування, м/хв;

$\Delta V^{\text{ш}}$ – різниця середньогодинної швидкості опускання шихти в осьовій зоні колошника на момент прогнозування та її зміни за 3 години до прогнозування, м / хв;

$[\text{Si}]_{\text{пот}}$ – середньогодинна величина вмісту кремнію у чавуні на момент прогнозування, %;

$[\text{Si}]_{\text{пот-3год}}$ – середньогодинна величина вмісту кремнію у чавуні за 3 години до прогнозування, %;

$Q_{\text{п}}$ – середньогодинний вміст пари у дутті на момент прогнозування, т/год.;

T_f – середньогодинна теоретична температура горіння на момент прогнозування, °C;

$(\text{PH}_{\text{пот-3год}})$ – середньогодинне рудне навантаження за 3 години до прогнозування, т/т;

$(\text{PH}_{\text{пот-6год}})$ – середньогодинне рудне навантаження за 6 годин до прогнозування, т/т;

$a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k$ – вагові коефіцієнти, значення яких визначають за допомогою регресійного аналізу.

Отже технічне рішення, яке заявляється, відповідає критерію "новизна".

Порівняння способу, який заявляється, з іншими технічними рішеннями в даній області техніки не дозволило виявити в них ознаки, що відрізняють його від найближчого аналога. Отже технічне рішення, що заявляється, відповідає критерію "винахідницький рівень".

5 Винахід пояснюється кресленням, де на фіг. 1а представлені графіки зміни фактичних і прогнозних значень вмісту кремнію у чавуні визначених за допомогою способу, який заявляється, а також рудного навантаження (фіг. 1б), витрати дуття (фіг. 1в) і кількості пари, що подається на зволоження дуття (фіг. 1г), для даного періоду роботи доменної печі.

Спосіб здійснюється наступним чином.

10 У процесі доменної плавки в доменну піч порціями через колошник завантажують шихтові матеріали. Для контролю ходу доменної плавки доменна піч обладнана засобами вимірювання параметрів процесу. Як засоби вимірювання відстані від технологічного нуля до поверхні засипу шихтових матеріалів використовують встановлені на куполі печі радіолокаційні вимірювачі (профілеміри). При вивантаженні шихтових матеріалів або з розподільника безконусного
15 завантажувального пристрою, або з конусного завантажувального пристрою на колошнику доменної печі утворюється поверхня засипу. Профіль поверхні засипу шихтових матеріалів визначають на підставі результатів вимірювання відстані від технологічного нуля до цієї поверхні за допомогою встановлених на куполі печі радіолокаційних вимірювачів. Рівні точок поверхні засипу визначаються координатами перетину променів вимірювачів з поверхнею засипу шихти.
20

Після вивантаження кожної порції шихтових матеріалів у доменну піч, визначають швидкості їх опускання в осьовій зоні перерізу колошника. Тобто, визначають відстань, що проходить точка профілю поверхні засипу за час між суміжними вивантаженнями порцій шихтових матеріалів у доменну піч.

25 Визначають середні значення швидкостей опускання шихтових матеріалів протягом заданого часового інтервалу, рівного одній годині, а потім встановлюють різницю середніх швидкостей опускання шихтових матеріалів в осьовій зоні перерізу колошника доменної печі, виміряних на початку та в кінці заданого часового інтервалу протягом конкретного часового періоду, що дорівнює 3 годинам, і поточні значення вмісту кремнію у чавуні ($[Si]_{nom}$) на випуску продуктів плавки по закінченні заданого часового інтервалу. Причому, різницю середніх значень швидкостей опускання шихтових матеріалів в осьовій зоні перерізу колошника доменної печі (відхилення середніх значень швидкостей,), виміряних на початку та в кінці заданого часового інтервалу протягом конкретного часового періоду, тобто від години до години за період 3 години, визначають за допомогою формули:

35 $\Delta V_{ц} = V_{ц4} - V_{ц1}$,
де $V_{ц1} \dots V_{ц4}$ - середні величини швидкостей опускання шихти в осьовій зоні печі за інтервал першої і останньої години за період 3 години, м/год.

Одночасно в ході плавки визначають середньогодинний вміст пари у дутті на момент прогнозування, середньогодинне рудне навантаження за 3 години і за 6 годин до прогнозування. Відповідно до виразу:

$$T_f = \frac{0,9341 \cdot T_{гд} + 82,08 \cdot \omega_{O_2} - 0,00124 \cdot \varphi_d \cdot (2402 - 1,2127 \cdot T_{гд}) - 26,76 \cdot \delta + 94,74}{1 + 0,01 \cdot \omega_{O_2} + \frac{2 \cdot 22,4 \cdot \varphi_d}{18000} + 2,077 \cdot \frac{V_{пр}}{F_d}},$$

$$\text{де } \delta = \frac{100 \cdot V_{пр}}{V_{пр} + F_d \cdot (1 - 0,00124 \cdot \varphi_d)}, \quad \varphi_d = 10 + \frac{V_{п} \cdot 10^6}{60 \cdot F_d};$$

$$F_d = V_d - \frac{12500}{\sqrt{630}} \cdot \sqrt{\Delta P_{\Sigma}} \cdot \sqrt{\frac{(P_{гд} + 1,027) \cdot (160 + 273)}{(T_{гд} + 273) \cdot (4,3 + 1,027)}};$$

T_f - теоретична температура горіння, °C;

45 $T_{гд}$ - температура гарячого дуття, °C;

ω_{O_2} - вміст кисню у дутті, %;

ω_d - вологість дуття, г/м;

$V_{пр}$ - витрати природного газу, м³/год.;

F_d - приведені до нормальних умов витрати дуття, м³/год.;

50 $V_{п}$ - витрати пари, який подається на зволоження дуття, т/год.;

V_d - витрати холодного дуття, м³/год.;

ΔP_{Σ} - сумарний перепад тиску, атм;

$P_{гд}$ - тиск гарячого дуття, атм,
розраховують середньогодинну теоретичну температуру горіння на момент прогнозування.
Прогнозний вміст кремнію у чавуні визначають відповідно до виразу:

$$[Si]_{\text{прогн}} = a \cdot V^{\text{ш}} + b \cdot T_f + c \quad [Si_{\text{пот}}] + d \cdot (V^{\text{ш}})^2 + e \cdot [Si_{\text{пот}}]^2 + f \cdot (PH_{\text{пот-6год}}) + g \cdot (PH_{\text{пот-3год}}) + h \cdot Q_p + i \cdot ([Si_{\text{пот-3год}}]) + j \cdot (\Delta V^{\text{ш}})^2 + k,$$

де $[Si_{\text{прогн}}]$ - прогнозне значення вмісту кремнію у чавуні, мас. %,

$V^{\text{ш}}$ - середньогодинна швидкість опускання шихти в осьовій зоні колошника на момент прогнозування, м/хв.,

$\Delta V^{\text{ш}}$ - різниця середньогодинної швидкості опускання шихти в осьовій зоні колошника на момент прогнозування та її зміни за 3 години до прогнозування, м / хв.,

$[Si_{\text{пот}}]$ - середньогодинна величина вмісту кремнію у чавуні на момент прогнозування, мас. %,

$[Si_{\text{пот-3год}}]$ - середньогодинна величина вмісту кремнію у чавуні за 3 години до прогнозування, мас. %,

Q_p - середньогодинний вміст пари у дутті на момент прогнозування, т/год.,

T_f - середньогодинна теоретична температура горіння на момент прогнозування, °С,

$(PH_{\text{пот-3год}})$ - середньогодинне рудне навантаження за 3 години до прогнозування, т/т,

$(PH_{\text{пот-6год}})$ - середньогодинне рудне навантаження за 6 годин до прогнозування, т/т,

$a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k$ - вагові коефіцієнти, значення яких визначають за допомогою регресійного аналізу.

Суть способу, що заявляється, полягає в наступному.

Вираз для визначення прогнозного вмісту кремнію у чавуні отримано в результаті регресійного аналізу зміни прогнозованої величини вмісту кремнію у чавуні, яка є критеріальною величиною, і технологічних параметрів плавки, використовуваних як регресори аналізу, для періоду роботи печі загальною тривалістю 470 год. Регресійний аналіз показав, що на величину вмісту кремнію у чавуні за 3 години до його випуску, крім швидкості опускання шихти в осьовій зоні колошника, на момент четвертої години роботи печі ($V^{\text{ш}}$) впливає різниця величин швидкості опускання шихти в осьовій зоні печі між четвертою і першою годиною ($\Delta V^{\text{ш}}$), квадрати швидкості і різниці швидкості, поточний вміст кремнію у чавуні ($[Si_{\text{пот}}]$), квадрат вмісту кремнію ($[Si_{\text{пот}}]^2$), вміст кремнію у чавуні за 3 години до поточної величини ($[Si_{\text{пот-3год}}]$), вміст пари у дутті (т/год.) (Q_p), теоретична температура горіння (T_f), середньогодинне рудне навантаження за 3 години до поточної величини (або за 6 годин до прогнозованої величини вмісту кремнію) ($PH_{\text{тек-3год}}$), а також середньогодинне рудне навантаження за 6 годин до поточної величини (чи за 9 годин до прогнозованої величини вмісту кремнію) ($PH_{\text{тек-6год}}$).

Обґрунтуванням залежності прогнозованого вмісту кремнію від параметрів, що входять до складу виразу (1), є такі положення. Взаємозв'язок вмісту кремнію у чавуні і швидкості опускання шихти в осьовій зоні колошника пояснюється максимальним частковим впливом відновленого в осьовій зоні печі кремнію на кінцевий його вміст у чавуні, що є результатом змішування чавуну, що надходить з областей з різним вмістом кремнію. Обґрунтуванням цього є встановлені закономірності формування складу чавуну, отримані при аналізі матеріалів розбирання охолодженої доменної печі Єнакіївського метзаводу [3]. Величини вмісту кремнію за 3 години і на момент прогнозування у виразу визначення прогнозованої величини вмісту кремнію відображають попередню тенденцію його зміни, вміст пари у дутті, як параметр оперативного регулювання теплового стану низу доменної печі, безпосередньо впливає на поточну величину вмісту кремнію у чавуні. Рудне навантаження за 6 годин до прогнозування (час перебування матеріалів у печі - один їх оборот) відображає викликані ним зміни у тепловому стані низу печі, а рудне навантаження за 9 годин до прогнозування характеризує спрямованість зміни теплового стану низу печі. Важливим параметром, що визначає тепловий стан низу печі, є теоретична температура горіння палива, яка характеризує температурні умови у фурменній зоні доменної печі.

Приклад конкретної реалізації.

Спосіб був випробуваний в один з періодів роботи доменної печі №9 ВАТ "АрселорМіттал Кривий Ріг". Результати досліджень, виконаних у цей період, підтверджують технічну здійсненність способу прогнозування вмісту кремнію у чавуні, що заявляється.

Спочатку була визначена послідовність операцій, складова суть способу, який заявляється. Ця послідовність включала вимірювання і визначення конкретних технологічних параметрів доменної плавки, в процесі якої в доменну піч, обладнану засобами вимірювання відстані від технологічного нуля до поверхні засипу, порціями через колошник завантажували шихтові матеріали. При цьому здійснювали оперативний контроль хімічного складу чавуну, зокрема, вміст кремнію з визначенням поточних його значень на випуску продуктів плавки. Після

завантаження кожної порції шихтових матеріалів за допомогою радіолокаційного профілеміра вимірювали відстань від технологічного нуля до поверхні засипу в осьовій зоні перерізу колошника доменної печі і проміжок часу між завантаженням кожної порції шихтових матеріалів. На підставі результатів змін визначали швидкості опускання шихтових матеріалів в осьовій зоні після вивантаження в доменну піч кожної порції шихти. Потім визначали середні значення цих швидкостей протягом заданого часового інтервалу, прийнятого за технологічними умовами здійснення доменного процесу і спрощення реалізації способу, дорівнюваному одній годині. Після цього, за результатами вимірювань швидкостей опускання шихтових матеріалів в осьовій зоні перерізу колошника доменної печі на початку і в кінці заданого часового інтервалу, дорівнюваному одній годині, протягом конкретного часового періоду, дорівнюваному трьом годинам, встановлювали різницю середніх значень цих швидкостей, визначали квадрати швидкості, і одночасно по закінченні заданого часового інтервалу, дорівнюваного одній годині, визначали поточні значення вмісту кремнію у чавуні на випуску продуктів плавки і розраховували квадрат вмісту кремнію ($[Si_{пот}]^2$), а також вміст кремнію у чавуні за 3 години до поточної величини ($Si_{пот-3год}$). Одночасно з цим фіксували величину вмісту пари у дутті (т/год.) ($Q_{п}$), розраховували температуру (T_f), середньогодинне рудне навантаження за 3 години до поточної величини (або за 6 годин до прогнозованої величини вмісту кремнію) ($PH_{пот-3год}$), а також середньогодинне рудне навантаження за 6 годин до поточної величини (чи за 9 годин до прогнозованої величини вмісту кремнію) ($PH_{пот-6год}$).

Потім для періоду роботи печі загальною тривалістю 470 годин виконували регресійний аналіз зміни прогнозованої величини вмісту кремнію у чавуні, який є критеріальною величиною, і технологічних параметрів плавки, використовуваних як регресори аналізу. На основі виконаного регресійного аналізу для періоду роботи печі тривалістю 470 годин отримані вагові коефіцієнти кожного з регресорів, які наведені в таблиці.

Як приклад реалізації способу наведено розрахунок прогнозного вмісту кремнію у чавуні за допомогою виразу, що заявляється для періоду роботи ДП №9 БАТ "АрселорМіттал Кривий Ріг" 12.03.2010 р. о 01.00. У цей період технологічні параметри - регресори вираження були наступними: $V^U = 0,104$ м/хв; $\Delta V^U = 0,0117$ м/хв; $[Si_{пот}] = 1,24$ мас. %; $[Si_{пот-3год}] = 1,28$ мас. %; $Q_{п} = 2,547$ т/год.; $T_f = 2091$ °C; $(PH_{пот-3год}) = 3,53$ т/т; $(PH_{пот-6год}) = 2,99$ т/т. Під час випуску о 4.00 фактичний вміст кремнію у чавуні склав 1,12 мас. %. Згідно заявленої залежності прогнозне значення вмісту кремнію через 3 години, тобто о 9.00, складе 1,10 %. Відхилення прогнозного, визначеного за допомогою способу, який заявляється, від фактичного значення вмісту кремнію у чавуні склало мас. 2,11 %.

Аналогічним чином були визначені значення прогнозного вмісту кремнію у чавуні протягом періоду, що відповідає часу відпрацювання умов реалізації технічного рішення, що заявляється. На основі отриманих вагових коефіцієнтів регресорів для цього періоду роботи ДП №9 за допомогою виразу, що заявляється розраховані прогнозовані значення вмісту кремнію у чавуні. Наведений на фіг. 1 графік ілюструє зміну "нев'язки" прогнозованого вмісту кремнію з фактичним його значенням. Як випливає з фіг. 1, відхилення прогнозного значення вмісту кремнію від фактичних його значень становить, в середньому, $\pm 6,76$ %. Для порівняння виконано розрахунки прогнозованого вмісту кремнію у чавуні з використанням запропонованого в найближчому аналізі вираження.

Таблиця

Вагові коефіцієнти технологічних параметрів
плавки (регресорів) рівняння регресії величини прогнозного вмісту кремнію у чавуні

Ваговий коефіцієнт	Відповідний ваговому коефіцієнту регресор рівняння	Розмірність	Значення коефіцієнтів	
			од	%
k	константа	-/-	0,5386	12,289
a	V^U	м/хв	-11,9438	28,468
b	T_f	°C	0,0004	19,045
c	$[Si_{пот}]$	%	0,8309	18,842
d	$(V^U)^2$	$(м/хв)^2$	40,6219	10,380
e	$[Si_{пот}]^2$	% ²	-0,1611	3,826
f	$(PH_{пот-6год})$	т/т	-0,0302	2,413
g	$(PH_{пот-3год})$	т/т	-0,0296	2,359
h	$Q_{пари}$	т/ч	-0,0294	1,344
i	$[Si_{пот-3год}]$	%	0,0325	0,732
j	$(\Delta V^U)^2$	$(м/хв)^2$	-38,9668	0,302

Згідно з цими розрахунками для досліджуваних періодів роботи "нев'язка" прогнозних і фактичних значень вмісту кремнію у чавуні склала, в середньому, 20 %, що підтвердило збільшення достовірності прогнозування вмісту кремнію у чавуні на основі використання запропонованого способу.

Таким чином, аналіз результатів випробування технічного рішення, що заявляється, в один з періодів роботи доменної печі №9 ВАТ "АрселорМіттал Кривий Ріг", з одного боку, підтвердив технічну здійсненність способу прогнозування вмісту кремнію у чавуні, який заявляється, а, з іншого боку, показав, що його використання дозволяє здійснювати оперативний прогноз вмісту кремнію у чавуні. Підвищення оперативності прогнозування вмісту кремнію у чавуні в умовах виробництва, що змінюються при виплавці чавуну в доменних печах, обладнаних засипними апаратами будь-якої конструкції, забезпечує зниження витрати коксу на виплавку чавуну. Крім того, використання способу, що заявляється, дає можливість оперативно давати оцінку теплового стану доменної печі. Це створює передумови для оптимізації теплового резерву доменної печі за вмістом кремнію у чавуні з можливістю подальшого управління цим процесом, що також сприяє зменшенню витрати коксу, а, отже, вирішується поставлена задача і досягається передбачуваний технічний результат.

Джерела інформації: при складанні заявки:

1. Гиммельфарб А. А., Ефименко Г.Г. Автоматическое управление доменным процессом. - М: Металлургия, 1969. С. 146-149.

2. Патент UA 82305 C2 на изобретение. Способ прогнозирования содержания кремния в чугуна / Большаков В. И., Шулико С. Т., Муравьева И. Г., Семенов Ю. С, Жучков С. М. - опубл. 25.03.08, Бюл. №6, 2008 г. - прототип.

3. Фазовые превращения материалов в доменной печи / [Балон И. Д., Буклан И. З., Муравьев В. Н., Никулин Ю. Ф.] - М.: Металлургия, 1984.-152с.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

Спосіб прогнозування вмісту кремнію у чавуні, який включає визначення технологічних параметрів доменної плавки, в процесі якої в доменну піч, обладнану засобами вимірювання відстані від технологічного нуля до поверхні засипу, порціями через колошник завантажують шихтові матеріали та здійснюють оперативний контроль хімічного складу чавуну з визначенням поточних його значень на випуску продуктів плавки, після завантаження кожної порції шихтових матеріалів вимірювання відстані від технологічного нуля до поверхні засипу в осьовій зоні перерізу колошника доменної печі за допомогою радіолокаційного профілеміра і проміжку часу між завантаженням кожної порції шихтових матеріалів, визначення швидкості їх опускання в осьовій зоні після вивантаження в доменну піч кожної порції шихтових матеріалів, а також середніх значень цих швидкостей протягом заданого часового інтервалу, рівного одній годині, встановлення прогнозних значень вмісту кремнію у чавуні, який **відрізняється** тим, що в ході плавки визначають середньогодинний вміст пари у дутті на момент прогнозування, середньогодинне рудне навантаження за 3 години і за 6 годин до прогнозування, розраховують середньогодинну теоретичну температуру горіння на момент прогнозування, при цьому прогнозний вміст кремнію у чавуні визначають відповідно до виразу:

$$[Si]_{\text{прогн}} = a \cdot V^{\text{ч}} + b \cdot T_f + c \cdot [Si]_{\text{пот}} + d \cdot (V^{\text{ч}})^2 + e \cdot [Si]_{\text{пот}}^2 + f \cdot (PH_{\text{пот-6год}}) + g \cdot (PH_{\text{пот-3год}}) + h \cdot Q_p + i \cdot ([Si]_{\text{пот-3год}}) + j \cdot (\Delta V^{\text{ч}})^2 + k,$$

де $[Si]_{\text{прогн}}$ – прогнозне значення вмісту кремнію у чавуні, мас. %,

$V^{\text{ч}}$ – середньогодинна швидкість опускання шихти в осьовій зоні колошника на момент прогнозування, м/хв.,

$\Delta V^{\text{ч}}$ – різниця середньогодинної швидкості опускання шихти в осьовій зоні колошника на момент прогнозування та її зміни за 3 години до прогнозування, м/хв.,

$[Si]_{\text{пот}}$ – середньогодинна величина вмісту кремнію у чавуні на момент прогнозування, мас. %,

$[Si]_{\text{пот-3год}}$ – середньогодинна величина вмісту кремнію у чавуні за 3 години до прогнозування, мас. %,

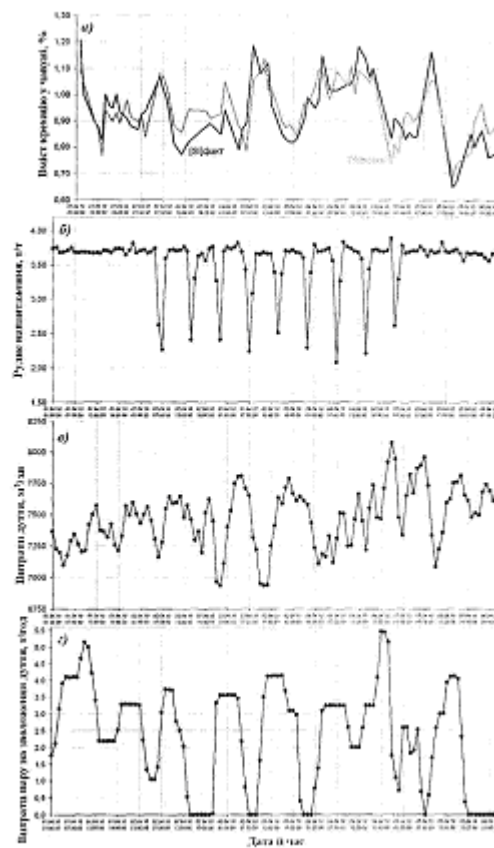
Q_p – середньогодинний вміст пари у дутті на момент прогнозування, т/год.,

T_f – середньогодинна теоретична температура горіння на момент прогнозування, °С,

$(PH_{\text{пот-3год}})$ – середньогодинне рудне навантаження за 3 години до прогнозування, т/т,

$(PH_{\text{пот-6год}})$ – середньогодинне рудне навантаження за 6 годин до прогнозування, т/т,

a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k – вагові коефіцієнти, значення яких визначають за допомогою регресійного аналізу.



Фіг. 1

Комп'ютерна верстка Л. Купенко

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601