



УКРАЇНА

(19) UA (11) 75336 (13) C2
(51) МПК (2006)
C21C 5/00МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) СПОСІБ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ПЛАВКИ В ЕЛЕКТРИЧНІЙ ПЕЧІ

1

(21) 2002021288

(22) 15.02.2002

(24) 17.04.2006

(31) 2001111565

(32) 28.04.2001

(33) RU

(46) 17.04.2006, Бюл. № 4, 2006 р.

(72) Пономаренко Дмитрій Александровіч, RU, Пономаренко Олександр Георгійович, Храпко Сергій Олександрович, Синяков Руслан Валерійович, Старосоцькій Андрей Васильєвіч, MD, Іноземцева Ніна Василівна

(73) Пономаренко Дмитрій Александровіч, RU

(56) RU 2101364 C1, 10.01.1998

RU 2075840 C1, 20.03.1997

JP 2301509 A, 13.12.1990

JP 61174312 A, 06.08.1986

US 4052195 A, 04.10.1977

WO 0100886 A1, 04.01.2001

JP 07026318 A, 27.01.1995

US 5378261 A, 03.01.1995

(57) Спосіб керування процесом плавки в електричній печі, що включає дозування компонентів шихти, їх завантаження в піч, регулювання теплового й електричного режимів плавки шляхом підтримання робочої потужності печі переміщенням електродів і/або переключенням ступенів напруги пічного трансформатора, визначення контрольованих параметрів плавки, вироблення керуючих впливів, одержання заданих температури і хімічного складу продуктів плавки шляхом використання керуючих впливів, випуск продуктів плавки з печі, який від-

2

різняється тим, що як вихідні параметри для вироблення керуючих впливів використовують введення шлакоутворювачів, відновлювачів, енергоносіїв і газів, а як контрольовані параметри використовують масу і хімічний склад компонентів металу і шлаку, що утворюються, і їхню температуру, які визначають у ході всього процесу плавки з періодичністю 5-12 секунд, при цьому масу і хімічний склад визначають за параметром стану системи, при обчисленні якого незалежними одиницями теплового руху металу і шлаку вважають атоми й електрони, при розрахунку конфігураційної його частини враховують енергетичну нееквівалентність перестановок цих одиниць, а значення робочої потужності печі, вид, кількість і порядок введення присадок в ході плавки визначають постійно шляхом розрахунку матеріального і теплового балансів при мінімізації вартості плавки, причому додатково контролюють тривалість плавки з урахуванням часу простоїв і/або витрати газів, а температуру визначають з балансу енергії, що надійшла, і різниці ентальпій присадок і продуктів плавки, причому ентальпію шлаку обчислюють за формулою:

$$H = \prod x_i^{x_i} - \sum x_i x_i,$$

де:

H - ентальпія шлаку, Дж/моль;

 x_i - енергетичний параметр i-го компонента, Дж/моль; x_i - мольна частка i-го компонента в шлаку.

Винахід відноситься до галузі металургії, зокрема до виплавки стали в електричних дугових печах і може бути використаний для керування процесом плавки в електричній печі.

Відомий спосіб керування плавкою в дуговій печі на базі математичної моделі, що включає використання інформації про переміщення електродів і температуру стін, яка надходить від спеціальних датчиків, використання математичної моделі в окисний період плавки, у яку закладені рівняння, що зв'язують зневуглицювання металу і підвищен-

ня температури ванни в період продувки киснем, а також розрахунок температури сталі на базі рівнянь теплового і матеріального балансів, причому, для періоду рафінування складені рівняння, що дозволяють розрахувати кількість присаджуваних феросплавів і необхідну витрату електроенергії в залежності від кількості кисню, витраченого на продувку [Тецу то хагане, 1988. - 74, №11, - С.2122-2129].

Відомий спосіб не забезпечує високої точності керування процесом плавки тому, що контрольо-

(13) C2

(11) 75336

(19) UA

ваними параметрами є тільки зневуглецювання металу і зміна температури ванни в період продувки киснем, які не враховують хімічний склад металу, шлаку, газу, що приводить до некоректності керування процесом плавки. При цьому дані про зміну температури за витратою кисню є непрямыми і залежними тільки від одного параметра, що також знижує точність керування процесом плавки.

Найбільш близьким до винаходу за технічною сутністю і результатом, що досягається, є спосіб керування процесом одержання фосфору в електротермічній печі, відповідно до якого аналіз і дозування компонентів шихти, регулювання електричного режиму плавки шляхом підтримки заданого струму електрода і робочої потужності печі переміщенням електродів і/чи переключенням ступенів напруги пічного трансформатора, визначення змісту оксида фосфору (V) в шлаку, усереднення фактичної активної потужності печі і вмісту оксида фосфору (V) в шлаку за заданий проміжок часу і порівняння отриманих результатів з заданими, а за відхиленням значення вмісту оксида фосфору (V) в шлаку від заданого значення коректують кількість відновлювача в шлаку, при цьому задане значення струму електрода визначають з урахуванням оптимального вмісту оксида фосфору (V) в шлаку і заданій потужності печі, усереднення значень оксида фосфору (V) в шлаку здійснюють з урахуванням запізнювання впливу складу шихти на склад шлаку, контролюють положення електрода в вуглецевій зоні, а кількість відновлювача в шихті коректують по формулі:

$$\omega_{\text{к}} = \omega_{\text{кз}} + \Delta\omega_{\text{к}} + \Delta\omega_{\text{доб}} \quad (1)$$

де: $\omega_{\text{к}}$ - кількість коксу, необхідна для відновлення оксида фосфору (V) в шихті на 100кг фосфориту, кг;

$\omega_{\text{кз}}$ - первісне дозування коксу в шихті на 100кг фосфориту, кг;

$\Delta\omega_{\text{к}}$ - зміна дозування коксу по відхиленню вмісту оксида фосфору (V) в шлаку від заданого, кг;

$\Delta\omega_{\text{доб}}$ - добова величина зміни дозування коксу за результатами аналізу сировини, кг;

[Патент Росії RU №2081818, кл. C01B25/00, опубл. 1997.06.20].

Ознаки найближчого аналога, що збігаються з суттєвими ознаками винаходу, що заявляється:

1) дозування компонентів шихти та їхнє завантаження в піч;

2) регулювання теплового й електричного режимів плавки шляхом підтримки робочої потужності печі переміщенням електродів і/чи переключенням ступенів напруги пічного трансформатора;

3) визначення контрольованих параметрів плавки;

4) вироблення керуючих впливів;

5) одержання заданих температури і хімічного складу продуктів плавки шляхом використання керуючих впливів.

Відомий спосіб не забезпечує необхідної точності керування за наступними причинами:

1. Плавку згідно з найближчим аналогом ведуть у відповідності до заздалегідь створеного проекту плавки. Усі коректування процесу плавки здійснюють шляхом усереднення отриманих даних про хімічний аналіз шлаку, фактичні значення P_2O_5

у шлаку, шляхом зміни електричного режиму плавки і витрат фосфориту та відновлювача, наближаючи їхнього значення до заданого в проекті плавки. При цьому неминує знижується точність керування процесом плавки і підвищується ціна готової продукції тому, що будь-які зміни в процесі плавки підвищують вартість готової продукції, а виправлення режиму, що відбуваються надалі, не сприяють зниженню вартості.

2. Обчислений у відомому способі один з основних критеріїв - контрольований параметр - оптимальний вміст P_2O_5 у шлаку є величина фіксована для конкретної плавки, тобто, не залежить від фактичних змін, що відбуваються в печі під час плавки; це приводить до зниження точності керування процесом плавки і підвищення вартості готової продукції.

3. Фіксоване значення запізнювання впливу складу шихти на склад шлаку є грубим наближенням до фактичних значень, що приводить до зниження точності керування процесом плавки і підвищення вартості готової продукції.

4. Дані про хімічний склад реального шлаку по вмісту в ньому P_2O_5 не можуть бути коректними тому, що на момент відбирання проб шлак гетерогенний, що також приводить до зниження точності процесу керування плавкою і підвищення вартості готової продукції.

До основи винаходу поставлено задачу удосконалення способу керування процесом плавки в електричній печі, у якому за рахунок визначених технологічних параметрів і підвищення оперативності вироблення керуючих впливів на виконавчі механізми забезпечується оптимізація процесу, що дозволяє підвищити точність керування і знизити вартість готової продукції.

Технічний результат досягається тим, що керування процесом плавки в електричній печі, яке передбачає дозування компонентів шихти, їхнє завантаження в піч, регулювання теплового й електричного режимів плавки шляхом підтримки робочої потужності печі переміщенням електродів і/чи переключенням ступенів напруги пічного трансформатора, визначення контрольованих параметрів плавки, вироблення керуючих впливів, одержання заданої температури і хімічного складу продуктів плавки шляхом використання керуючих впливів, випуск продуктів плавки з печі, за винаходом як вихідні параметри для вироблення керуючих впливів використовують введення шлакоутворювачів, відновлювачів, енергоносіїв і газів, а як контрольовані параметри використовують масу і хімічний склад компонентів металу і шлаку, що утворюються, і їхню температуру, які визначають у площині всього процесу плавки з періодичністю 5-12 секунд, при цьому масу і хімічний склад визначають по параметрі стану системи, при обчисленні якого незалежними одиницями теплового руху металу і шлаку вважають атоми й електрони і враховують енергетичну нееквівалентність перестановок цих одиниць, при розрахунку конфігураційної його частини, а значення активної потужності печі, вид, кількість і порядок введення присадок, в ході плавки періодично визначають постійно шляхом розрахунку матеріального і теплового балансів при мінімізації вартості плавки, причому додат-

ково контролюють тривалість плавки з урахуванням часу простоїв і/чи витрати газів, а температуру визначають з балансу енергії, що надійшла, і різниці ентальпій присадок і продуктів плавки, причому ентальпію шлаку обчислюють за формулою:

$$H = \prod \chi_i^{x_i} - \sum \chi_i x_i \quad (2)$$

де: H - ентальпія шлаку, Дж/моль;

χ_i - енергетичний параметр i -го компонента в шлаку, Дж/моль;

x_i - мольна частка i -го компонента у фазі.

Винахід заснований на тому, що перед початком кожної поточної плавки формують її проект на підставі статистичної обробки масиву плавок, а також фізико-хімічних закономірностей процесу плавки в електричній печі. Проект плавки являє собою технологічне завдання на плавку і містить у собі часові графіки роботи усіх виконавчих механізмів: подачу шлакоутворюючих, витрата газів, енергоносіїв з обліком металлошихти, що завантажуються в піч.

З початком плавки включають систему автоматичного керування, яка з інтервалом 5-12 секунд виробляє керуючі впливи на виконавчі механізми на підставі інформації, яка постійно надходить, про значення мас і видів матеріалів, що фактично вводяться в електричну піч, а також даних про електричний режим плавки.

Вироблення керуючих впливів на виконавчі механізми частіше, ніж через кожні 5 секунд проводити недоцільно, тому що зміни, що відбуваються в системі метал - шлак - газ у цей період менше помилок існуючих методів аналізу.

Збільшення інтервалу більш 12 секунд, особливо при реалізації способу в сучасних надпотужних електродугових печах, пов'язано зі зниженням точності прогнозів, що приводить до зниження точності керування процесом плавки в електричній печі.

Необхідність коректування керуючих впливів на виконавчі механізми в плінні всього процесу плавки викликана відхиленнями, що відбуваються в реальному процесі, від заданого проекту.

При виробленні керуючих впливів на виконавчі механізми враховують матеріальний і тепловий баланси, проводять термодинамічний розрахунок поточного складу системи метал - шлак - газ, і їхньої температури, що протягом усієї плавки використовують як контрольовані параметри. У результаті проводять пошук оптимальних значень керуючих впливів з коректуванням проекту на всю частину плавки, що залишилася, при цьому як вихідні параметри для вироблення керуючих впливів використовують дані про введення шлакоутворювачів, відновлювачів, енергоносіїв і газів.

Модель плавки в електричній печі має вид диференціального рівняння:

$$\dot{x} = f(x, u) \quad (3)$$

де: $x = (x_1, \dots, x_n)$ - вектор станів об'єкта;

$u = (u_1, \dots, u_n)$ - вектор керувань (впливів);

t - час;

n - число параметрів, що визначають стан системи.

Поточний стан системи визначали двома параметрами: керуючими впливами (u) і самочинним прагненням системи до стану рівноваги (x), а їхню

кінетичну траєкторію одержували прямим чисельним інтегруванням рівняння (3).

Поточні значення мас і хімічного складу компонентів системи метал - шлак - газ по винаходу рахували з розрахунку параметра, що визначає термодинамічний стан системи з обліком фактичних даних, що надходять у блок керування про компоненти шихти, що вводяться в піч, електричному режимі і відхиленнях від заданого проекту плавки. Таким параметром є конфігураційна ентропія - імовірнісна функція, зв'язана з тепловими характеристиками системи, зміна яких у свою чергу відображає всі зміни параметрів, що виникають в ході плавки, тобто параметр, що враховує всі зміни, що виникають у матеріальному об'єкті в результаті впливів, направлених на об'єкт за допомогою матеріальних засобів. Параметр має властивості адитивності і може приймати екстремальні значення у стані рівноваги системи. Якщо представити систему метал - шлак - газ у стані рівноваги, як

$$G = G(T, P, m_1, m_2, \dots, m_k) \quad (4)$$

де: G - вільна енергія Гіббса,

m_1, m_2, \dots, m_k - маси хімічних елементів, що утворюють систему (обчислюють по подаваних вихідних матеріалах і енергоносіях),

T - температура (обчислюють з енергетичного балансу),

P - загальний тиск у системі (для дугової сталеплавильної печі, кисневого конвертера і печі - ковша, $P \approx 101 \text{ кПа}$).

і виходячи з того, що після розплавлення шихти система розпадеться на три фази: метал, шлак і газ, у яких маса кожного компонента ю, існує в кожній фазі:

$$m_i = m_{[i]} + m_{(i)} + m_{(g)} \quad (5)$$

де: $m_{[i]}$, $m_{(i)}$, $m_{(g)}$ - маса i -го компонента в металі, шлаку і газі відповідно.

Визначення хімічного складу в кожній фазі зводиться до знаходження значень цих мас.

З огляду на те, що вільна енергія системи є сумою вільних енергій фаз:

$$G = G_{\text{мет}} + G_{\text{шл}} + G_{\text{газ}} \quad (6)$$

де: $G_{\text{мет}}$, $G_{\text{шл}}$, $G_{\text{газ}}$ - енергія Гіббса металу, шлаку і газу, відповідно,

$$G_{\text{мет}} = G_{\text{мет}}(T, P, m_{[1]}, m_{[2]}, \dots, m_{[k]}) \quad (7)$$

$$G_{\text{шл}} = G_{\text{шл}}(T, P, m_{(1)}, m_{(2)}, \dots, m_{(k)}) \quad (8)$$

$$G_{\text{газ}} = G_{\text{газ}}(T, P, m_{(1)}, m_{(2)}, \dots, m_{(k)}) \quad (9)$$

і записавши $2k$ умов рівноваги в інтенсивних змінних:

$$\mu_{[i]} = \mu_{(i)} = \mu_{(g)} \quad (10)$$

де: $\mu_{[i]}$, $\mu_{(i)}$, $\mu_{(g)}$ - хімічний потенціал i -го компонента, відповідно в металі, шлаку і газі,

одержуємо систему $3k$ рівнянь, що дозволяють обчислити всі $3k$ невідомих маси, визначивши, таким чином, маси продуктів плавки, що утворилися, і їхній хімічний склад.

При статистичному обчислюванні ентропії за формулою Больцмана у якості незалежних одиниць теплового руху металу і шлаку відповідно до винаходу приймали атоми й електрони елементів системи метал - шлак - газ. Експериментально встановлено, що теплоємність пропорційна числу атомів і "теплових" електронів, що утворюють фазу.

Конфігураційну складову ентропії i -го компонента у фазі обчислювали за формулою:

$$S_i = R \cdot \ln \frac{x_i}{\sum_{j=1}^k x_j \exp \frac{\varepsilon_{ji}}{RT}} \quad (11)$$

де: S_i - конфігураційна ентропія i -го компонента у фазі, Дж/моль;

x_i - мольна частка i -го компонента у фазі;

k - кількість компонентів у фазі;

ε_{ji} - енергія перестановки атомів у та i , Дж/моль, що обчислюється по формулі:

$$\varepsilon_{ji} = \left(\chi_i^{1/2} - \chi_j^{1/2} \right)^2 \quad (12)$$

де: χ_i , χ_j - енергетичні параметри елементів i та j , відповідно, у фазі, Дж/моль.

При цьому встановлено, що облік енергетичної нееквівалентності перестановок при обчисленні термодинамічної ймовірності, що входить у формулу обчислення ентропії, підвищує точність розрахунку рівноважного складу конденсованих фаз (металу і шлаку), що приводить до підвищення точності керування процесом в електричній печі.

Температуру визначали з балансу енергії, що надійшла, і різниці ентальпій вихідних матеріалів і продуктів плавки з урахуванням впливу складу фаз на теплові ефекти по формулі:

$$H = \prod \chi_i^{x_i} - \sum \chi_i x_i \quad (13)$$

де: H - ентальпія шлаку, Дж/моль;

χ_i - енергетичний параметр i -го компонента в шлаку, Дж/моль;

x_i - мольна частка i -го компонента у фазі.

Прийнятий у пропонованому винаході розрахунок температури дозволяє підвищити точність керування процесом плавки в електричній печі.

Кінетичні константи визначали таким чином. При введенні в електричну піч на кожному i -му часовому інтервалі (dt_i) (у пропонованому способі інтервал складає 5-12 секунд), фіксованої кількості енергоносіїв, газів, окислювачів відбувається плавлення металу і шлакоутворюючих. При цьому утвориться певна кількість шлаку масою $dm_{шл}$, і газу масою $dm_{газ}$ відповідні поточному середньому складу металу.

Отримана маса газу $dm_{газ}$ віддаляється в атмосферу, а маса шлаку, що утворилася, $dm_{шл}$, змішується з основною масою шлаку, при цьому частина шлаку масою dm_1 визначали по формулі:

$$dm_1 = m_{шл} \cdot K_k \quad (1)$$

де dm_1 - маса частини шлаку, кг;

$m_{шл}$ - маса всього шлаку, кг;

K_k - статистично обумовлений, кінетичний коефіцієнт;

і надавали рівноваги з металом, у результаті чого одержували метал, шлак і газ з відмінними від первісних масами і хімічними складами, після чого шлак змішували з основною масою шлаку, а газ видаляли в атмосферу.

Отримані таким чином дані про маси і хімічні склади металу, шлаку і газу і їхньої температури надходили в блок керування як поточні значення на момент закінчення i -го циклу ітерацій.

На підставі отриманих даних про матеріальний і тепловий баланси при мінімізації вартості плавки блок керування постійно виробляє оптимізовані

керуючі впливи на виконавчі механізми - значення робочої потужності, вид, кількість і порядок уведення присадок в ході плавки, при цьому постійно здійснюють контроль тривалості плавки з урахуванням часу простоїв і/чи несанкціонованої зміни маси присадок і/чи газів, дані про які також безупинно надходять у блок керування.

Таким чином, у результаті знайдених технологічних прийомів забезпечується оперативність контролю за параметрами плавки, уточнені термодинамічний і кінетичний розрахунки, а також визначення температури з урахуванням впливу складу фаз на теплові ефекти привели до підвищення точності керування процесом плавки в електричній печі за рахунок оптимізації вироблення керуючих впливів на виконавчі механізми.

Приклад. Виплавку залізовуглецевого напівпродукту з наступним хімічним складом на випуску С 0,06-0,04%, S не більш 0,035%, P не більш 0,015%, O не більш 0,30%, Ni не більш 0,30%, Cu 0,30% і температурі 1630°C, проводили в 120-тонній дуговій сталеплавильній печі 75 МВА.

Попередньо були визначені задані контрольовані параметри плавки: маси, хімічний склад металу і шлаку і їхня температура.

Для реалізації способу з визначеними контрольованими параметрами був вироблений проект плавки - керуючі впливи в якості яких використовували:

- уведення шлакоутворюючих матеріалів - вапна (CaO - 94%, SiO₂ - 1%, MgO - 1%), вапняку (CaO - 53,6%, SiO₂ - 1%, MgO - 3,6%),
- уведення відновлювачів - коксу (C - 85%, S - 1,6%),
- подачу газів - природного (CH₄ - 99%); кисню (O₂ - 99%);
- уведення енергоносіїв - електроенергії (потужність).

На 5 секунд в піч завантажили кошик металобрухту вагою 43500кг: 33300кг брухту габаритного (C - 0,35%, Mn - 0,5%, Si - 0,21%, P - 0,050%, S - 0,075%), 8300кг сталевих стружки (C - 0,8%, Mn - 0,5%, Si - 0,21%, P - 0,050%, S - 0,150%), 1900кг окалини (FeO - 100%) і 800 коксу (C - 85%). На 300 секунд включили подачу газів - кисню 0,6м³/сек. і природного з витратою 0,3м³/сек. (паливно-кисневі пальники). На 330 секунд включили трансформатор на ступіні напруги потужністю 44МВт. Після чого включили подачу газу - кисню з інтенсивністю 0,6м³/сек. (маніпулятор "палмур") і 0,66м³/сек. (маніпулятор "фукс"). На 750 секунд плавки почали вводити шлакоутворюючі - вапно з інтенсивністю 0,5кг/сек, вапняк з інтенсивністю 0,55кг/сек, і відновлювачі - кокс - 0,5кг/сек.

Протягом усього періоду процесу плавки з періодичністю 5-12 секунд визначали масу, хімічний склад металу, шлаку, газу і їхню температуру. Маса і хімічний склад металу і шлаку визначали відповідно до пропонованого обчислення ентропії. Температуру металу, шлаку і газу визначали з балансу енергії, що надійшла, і різниці ентальпій матеріалів, що надійшли, і продуктів плавки. Контролювали тривалість плавки з урахуванням часу простоїв. Активну потужність печі, вид, кількість і порядок уведення присадок по ходу плавки визначали постійно шляхом розрахунку матеріального і

теплогового балансу при мінімізації вартості плавки для одержання заданого хімічного складу і температури залізобудівного розплаву на випуску.

Визначення всіх контрольованих параметрів проводили протягом усього процесу плавки з інтервалом 5-12сек. Корегування керуючих впливів на виконавчі механізми здійснювалися з таким же часовим інтервалом, причому корегування проводили стосовно проекту плавки, виробленому в попередньому інтервалі.

У таблиці 1 показано три часових моменти плавки: початок, його середина і закінчення. У зв'язку з тим, що проект плавки попереднього тимчасового інтервалу є величиною гіпотетичної, з даних приведених у таблиці контрольованим параметром була обрана вартість плавки.

Дані про фактичний хід процесу приведені в таблиці 1 пункти 2-5.

Як видно з табл.1., при визначенні маси, хімічного складу металу і шлаку і їхньої температури на 5, 7 і 12 секунд плавки дані про фактичні контрольовані параметри практично не змінилися тому, що ніякого впливу на хід технологічного процесу зроблено не було.

Аналіз даних через 24хв.45сек. від початку плавки (п.2) показує про підвищення вартості плавки тому, що в ході плавки був простій з 300 секунд плавки по 630 (330сек.), кількість уведених матеріалів, енергоносіїв і газів не відповідало заданим в уточненому проекті плавки масам і обсягам. Через це були вироблені наступні керуючі впливи: інтенсивність введення вапна збільшена до 0,9кг/сек., вапняка - до 0,43кг/сек., потужність введення електроенергії збільшена до 50МВт і знову складений уточнений проект плавки.

Приведені в таблиці 1 дані про керуючі впливи на виконавчі механізми на заключному етапі плавки (через 51хв.15сек. від початку плавки) свідчать про те, що кількість уведених матеріалів, енергоносіїв і газів не відповідало заданим масам і обсягам по попередньому проекті плавки через нечітку роботу устаткування. Тому була підвищена інтенсивність введення кисню до 0,8м³/сек. (маніпулятор "палмур") і знижена інтенсивність подачі відновлювача - коксу - до 0,7кг/сек.

Після закінчення плавки були відібрані проби металу і шлаку на хімічний аналіз і заміряна температура. Аналіз даних, приведених у таблиці 1, свідчить про практично повний збіг контрольованих параметрів із заданими величинами.

Виплавку залізобудівного напівпродукту з хімічним складом і температурою на випуску, аналогічними пропонованому способу, проводили в 120 тоннній дуговій сталеплавильній печі 75 МВА за способом - найближчому аналогу.

Попередньо були визначені задані контрольовані параметри плавки: зміст CaO і SiO₂ в шлаку.

Для реалізації способу з заданими контрольованими параметрами були вироблені керуючі впливи, в якості яких використовували: введення шлакоутворюючих - вапна, вапняка, відновлювачів - коксу, енергоносіїв - електроенергії (потужність).

Завантаження шихти, дозування і включення печі виконували аналогічно пропонованому способу.

Періодично проводили контроль змісту CaO й SiO₂ у шлаку шляхом добору проб починаючи з 58хв.55сек. плавки через кожні 180 секунд до випуску. На основі цього визначали основність шлаку. За допомогою одноразових термопар заурення починаючи з 58хв.55сек. плавки визначали температуру з періодичністю 180 секунд. Дані про фактичний хід процесу при фіксованому часі плавки за способом прототипу приведені в таблиці 1 пункти 6-7.

Аналіз представлених у таблиці 1 даних показує істотну розбіжність у заданих і фактичних величинах контрольованих параметрів як на 58хв.55сек. плавки так і на випуску. Більш того, через великий інтервал визначення контрольованих параметрів (180сек. у порівнянні з 5-12) відзначали значну розбіжність у порівнянні з заданими параметрами в проекті плавки за температурою та хімічним складом на випуску, перевитратою енергоносіїв і матеріалів, збільшенням тривалості плавки і, відповідно, її вартості.

Пропонований спосіб керування електричною піччю дозволяє підвищити точність і надійність керування, економічність самого процесу виплавки.

Підвищення точності приводить до збільшення продуктивності і скороченню витрат за рахунок підвищення технологічної дисципліни, дозволяє відслідковувати несанкціоновані зміни в процесі плавки і нівелювати їх за допомогою налаштувальних констант. Отримані результати відповідно способу, що заявляється, свідчать про реалізацію можливості повного переходу на ведення плавки в автоматичному режимі.

Таблиця 1

№ з/п	Час заміру, г:хв:с	Е/е, МВтг	Кисень, м ³ /сек			Природний газ, м ³ /сек	Вапняк, кг/сек	Вапно, кг/сек	Кокс, кг/сек		Н, Дж/моль	Температура, °С	Вартість дол. США
			"Палмур"	"Фукс"	ПКП	ПКП			"Штайн"	бункер			
1												1630	13780
2	0:00:05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	230,6	25	13780
	0:00:07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	231,3	25	13783
	0:00:12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	233,1	24	13785
3	0:24:45	50	0,6	0,66	0,8	0,4	0,22	0,55	0,9	0,55	240,2	986	13840
4	0:51:15	48	0,8	0,62	0,6	0	0,43	0,90	0,7	0	268,7	1378	13828
5	1:02:05	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0	278,9	1630	13785
6	0:58:55	47	0,6	0,6	0	0	0	0,30	0,2	0		1556	13800
7	1:06:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0		1644	14538

Таблиця 1 (продовження)

№ з/п	Час заміру, г:хв:с	Метал						Шлак					
		Хімічний склад, %					Маса, тонн	Хімічний склад, %					Маса, тонн
		C	Mn	Si	S	P		FeO	CaO	SiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	
1		0,06-0,04			<0.035	< 0.015	135	35-50	20-25	13-18			10
2	0:00:05	0,0301	0,0231	0,0031	0,0805	0,014	10,1	54,6134	16,9253	16,9906	0,4374	4,2738	13,0
	0:00:07	0,0301	0,0231	0,0031	0,0805	0,014	10,1	54,6168	16,9237	16,989	0,4374	4,2734	13,0
	0:00:12	0,0301	0,0231	0,0031	0,0805	0,014	10,1	54,6203	16,9221	16,9874	0,4374	4,273	13,0
3	0:24:45	0,3184	0,1488	0,0626	0,0441	0,0166	65,2	50,1908	22,617	16,6796	0,4083	3,4495	22,5
4	0:51:15	0,2232	0,1609	0,0577	0,0431	0,0184	88,4	49,5558	23,3302	16,8663	0,4051	3,3511	26,5
5	1:02:05	0,0408	0,0543	0,0019	0,0339	0,012	138,2	50,7604	23,0418	14,5113	0,4276	4,0231	8,5
6	0:58:55	0,0414	0,0246	0,0019	0,050	0,0126	137,0	51,686	23,0294	14,5713	0,4313	4,0332	18,1
7	1:06:45	0,0324	0,0196	0,0013	0,048	0,0136	136,1	53,0138	23,2446	13,5291	0,3629	3,8327	9,3