



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 75337

(13) C2

(51) МПК (2006)
C21C 5/00МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) СПОСІБ КЕРУВАННЯ МЕТАЛУРГІЙНОЮ ПЛАВКОЮ

1

(21) 2002021289
(22) 15.02.2002
(24) 17.04.2006
(31) 2001111564
(32) 28.04.2001
(33) RU
(46) 17.04.2006, Бюл. № 4, 2006 р.
(72) Пономаренко Дмитрій Александровіч, RU, Пономаренко Олександр Георгійович
(73) Пономаренко Дмитрій Александровіч, RU
(56) SU 125264 A1, БИ №1, 1960
SU 448229 A1, 30.10.1974
SU 1470774 A1, 07.04.1989
RU 2048534 C1, 20.11.1995
US 6115404 A, 05.09.2000
US 3999977 A, 28.12.1976
(57) Спосіб керування металургійною плавкою, що включає попереднє завдання хімічного складу і температури системи метал - шлак - газ металургійної плавки, подавання вихідних матеріалів і енергоносіїв, розплавлювання вихідних матеріалів, визначення поточних значень температури, хімічного складу металу, шлаку і газу, здійснення і використання керуючих впливів на виконавчі механізми для ведення плавки відповідно до заданих

2

параметрів, який відрізняється тим, що попереднє завдання, поточний хімічний склад і температуру системи метал - шлак - газ визначають з періодичністю 5-90 секунд протягом усієї плавки, причому хімічний склад визначають за параметром 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 температуру в системі метал - шлак - газ визначають з балансу енергії, що надійшла, і різниці ентальпій вихідних матеріалів і продуктів плавки, при цьому ентальпію шлаку обчислюють за формулою:

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

де: H - ентальпія шлаку, Дж/моль;

 χ_i - енергетичний параметр елемента і у шлаку, Дж/моль; x_i - мольна частка елемента і у фазі;

а керуючі впливи здійснюють з тією ж періодичністю на основі оптимізації, принаймні одного з параметрів плавки.

Винахід відноситься до галузі металургії і може бути використаний в процесі керування металургійною плавкою.

Відомий спосіб здійснення металургійної плавки, зокрема сталеплавильного процесу, що передбачає керування витратою вуглецю, що уводиться в розплав, для досягнення оптимальної температури процесу в період продувки рідкої металевої ванни киснем, при цьому оптимальну температуру процесу визначають із системи критеріальних рівнянь руйнування надтекучості

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{R_{CT} \cdot (T_{\partial} + T_k^I)}{RO_2 \cdot T_{Ж-Кр} \cdot \left[\left(\frac{P_S}{P_{Ж-Кр}} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right]} = 1 \\ \frac{R_{CT} \cdot (T_{\partial} + T_k^{II})}{RO_2 \cdot T_C \cdot \left[\left(\frac{P_S}{P_C} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right]} = 1 \end{array} \right.$$

як середньоарифметичне між T_k^I і T_k^{II} ,
де R_{CT} - газова постійна сталі, кДж/кг·К,

(13) C2

(11) 75337

(19) UA

T_{∂} - температура плавлення сталі, К,

T_k^I - температура реакції вторинної реакційної зони в нижній крапці жиклер - критичного перетину умовного ежектора, К,

T_k^{II} - температура реакції первинної реакційної зони у верхній крапці жиклер - критичного перетину умовного ежектора, К,

R_{O_2} - газова постійна кисню, кДж/кг·К,

$T_{ж-кр}$ - температура кисню в жиклер - критичному перетині умовного ежектора в рідкій металевій ванні, К,

P_s - тиск струменя кисню в основі коаксіального закручення в нижнього зрізу дифузора ежектора, Па,

$P_{ж-кр}$ - тиск струменя кисню в жиклер- критичному перетині умовного ежектора в рідкій металевій ванні, Па,

P_c - тиск струменя кисню за зрізом дифузора продувного пристрою, Па,

T_c - температура кисню за зрізом дифузора продувного пристрою, К,

n - показник політропи, [UA №24954 C21C5/30, 25.12.1998р.].

Відомий спосіб не забезпечує високої точності керування тому, що відсутній динамічний вплив на систему метал - шлак - газ, а обчислена витрата вуглецю, що вводиться, необхідна для досягнення оптимальної температури процесу в період продувки рідкої металеві ванни киснем, не залежить від фактичного стану системи метал - шлак - газ у сталеплавильному агрегаті під час добавки розрахункової кількості вуглецю.

Найближчим аналогом до способу, що заявляється, є спосіб керування металургійною плавкою, зокрема, киснево-конвертерним процесом, що включає попереднє завдання хімічного складу і температури системи метал - шлак - газ металургійної плавки, заснованого на розрахунку по статистичних моделях балансів і енергії вихідних матеріалів плавки, подачу вихідних матеріалів, проведення першого коригувального статистичного розрахунку на підставі фактично поданих вихідних матеріалів, розплавлювання вихідних матеріалів, вдмухування в конвертер приблизно 85% від загальної витрати кисню, знайденого першим коригувальним розрахунком вихідних матеріалів, вимір допоміжною фурмою змісту вуглецю в металі і його температури, проведення другого коригувального розрахунку на підставі отриманих даних про зміст вуглецю і температури металу, вироблення і використання керуючих впливів на виконавчі механізми для ведення плавки відповідно до заданих параметрів (докладніше [Д. Янке, Г. Нойдрот, Х. Гутте, Т. Шульц. Управление кислородно-конвертерным процессом // Известия ВУЗ. Чёрная металлургия - 1999, №12, - С.12-20.]).

Вироблення керуючих впливів на виконавчі механізми у відомому способі здійснюють двічі - до початку продувки і перед подачею в конвертер останніх 15 % кисню від розрахункового.

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

1. Попереднє завдання хімічного складу і тем-

ператури системи метал - шлак - газ металургійної плавки.

2. Подавання вихідних матеріалів і енергоносіїв.

3. Розплавлювання вихідних матеріалів.

4. Визначення поточних значень температури, хімічного складу металу, шлаку і газу.

5. Вироблення і використання керуючих впливів на керуючі механізми для ведення плавки відповідно до заданих параметрів.

Відомий спосіб не забезпечує необхідного технічного результату по наступним причинам:

Попереднє завдання хімічного складу і температури на плавку проводять тільки на основі відомих статистичних моделей без обліку параметрів, що оптимізують процес, розрахованих з використанням фундаментальних законів, що приводить до зниження точності розрахунку попереднього завдання.

Коригувальний розрахунок завдання на плавку з обліком фактично поданих у конвертер матеріалів також не є точним, тому що він спрямований на те, щоб наблизити отримані в результаті розрахунку до раніше складеного попереднього завдання плавки, у якому вже закладена неточність.

При продувці металу в конвертері з витратою приблизно 85% від загального на всю плавку кисню, керування процесом фактично відсутнє, тобто у випадку виникнення яких-небудь відхилень в ході процесу від попереднього завдання: зміна витрати кисню, положення фурми, витрати шлакоутворюючих і т.д., внести корективи в процес по відомому способі не представляється можливим, тому що при першій продувці конвертерної ванни киснем 85% від загальної витрати вироблення керуючих впливів у динамічному режимі на виконавчі механізми не відбувається, а плавку ведуть за технологією відповідної раніше створеному попередньому завданню, при цьому не забезпечують оптимізацію процесу, що приводить до зниження його точності.

Відбір проби допоміжною фурмою після витрати кисню до рівня 85% від заданого хоча і подає визначену інформацію про хімічний склад металу і його температуру, але не є коректним у силу того, що метал не усереднений по глибині ванни в процесі продувки. Крім того, введення у ванну допоміжною фурмою перериває процес продувки, подовжуючи тим самим термін плавки, що приводить до зниження точності даних про процес плавки.

Задачею винаходу є удосконалення способу керування металургійною плавкою.

Очікуваний технічний результат - підвищення точності керування при досягненні оптимальності обраних технологічних параметрів, що забезпечують процес.

Технічний результат досягається тим, що у відомому способі керування металургійною плавкою, що включає попереднє завдання хімічного складу і температури системи метал - шлак - газ, подавання вихідних матеріалів і енергоносіїв, розплавлювання вихідних матеріалів, визначення поточних значень температури, хімічного складу металу, шлаку і газу, вироблення і використання керуючих впливів на виконавчі механізми для ведення плавки відповідно до заданих параметрів, за винаходом попереднє завдання, поточні хімі-

ний склад і температуру системи метал - шлак - газ визначають з періодичністю 5-90 секунд протягом усієї плавки за параметром стану, 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 температуру в системі метал - шлак - газ визначають з балансу енергії, що надійшла, і різниці ентальпій вихідних матеріалів і продуктів плавки, при цьому ентальпію шлаку обчислюють по формулі:

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

де: H - ентальпія шлаку, Дж/моль;

χ_i - енергетичний параметр елемента і у шлаку, Дж/моль;

x_i - мольна частка елемента і у фазі;

а керуючі впливи виробляють з тією ж періодичністю на підставі оптимізації, принаймні одного з параметрів плавки.

Винахід заснований на тім, що перед початком плавки формують попереднє завдання, яке одержують шляхом статистичної обробки масиву плавок, уточнене й оптимізоване на основі фізико-хімічних закономірностей процесу металургійної плавки воно включає тимчасові графіки роботи усіх виконавчих механізмів - подачі вапняку, коксу, уведення кисню, енергоносіїв протягом усієї плавки.

З початком плавки, після закінчення часового інтервалу 5-90 секунд і виконання перших операцій по її веденню, наприклад завалки, подачі кисню й ін., фіксують конкретну інформацію про значення видів і мас матеріалів, що фактично надійшли в металургійний агрегат. Це дозволяє уточнити загальну витрату кисню, маси і види необхідних на частину плавки, що залишилася, матеріалів, добавок і ін. Оцінка системи метал - шлак - газ, вироблення керуючих впливів на виконавчі механізми частіше, ніж через кожні 5 секунд, нераціональна через те, що можливі зміни в металургійній плавці, що відбуваються в інтервалі 5 секунд настільки незначні, що вони не впливають на сам хід процесу. Проведення оцінки стану системи метал - шлак - газ, вироблення керуючих впливів на виконавчі механізми в інтервалі більш 90 секунд також нераціональна, тому, що можливі зміни в металургійній плавці можуть бути істотними і їх пізня корекція може привести до зниження точності процесу керування металургійною плавкою. В ході плавки, на кожному наступному її часовому інтервалі, можуть відбуватися ті чи інші відхилення, що вимагають нової корекції завдання. Процедура оперативної корекції попереднього завдання продовжується протягом усієї плавки і включає:

- розрахунок матеріального балансу,
- розрахунок теплового балансу для визначення поточної температури процесу,
- термодинамічний розрахунок поточного складу фаз метал - шлак - газ,
- пошук оптимальних значень керуючих впливів з корекцією завдання на частину плавки, що залишилася.

При автоматичному керуванні процес ухвалення рішення і корекція завдання цілком формалізовані, тобто складаються з ряду конкретних обчислювальних операцій і дій, циклічне виконання яких дозволяє виробити керуючі впливи і передати їх виконавчим механізмам. Сучасна обчислювальна техніка забезпечує при правильній організації цих операцій підвищення якості прийнятих рішень, ефективність керування, що дозволяє підвищити точність керування металургійною плавкою.

Точність автоматичного керування, що досягається, визначається моделлю, призначення якої складається в пророкуванні реакції системи на можливі керуючі впливи. Модель металургійної плавки, зокрема сталеплавильного процесу, має вид диференціального рівняння:

$$\dot{x} = f(x, u, t) \quad (1)$$

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.

З рівняння (1) випливає, що стан керованого об'єкта в будь-якій крапці траєкторії процесу цілком визначається трьома параметрами: часом (t), керуючими впливами (u) і мимовільним прагненням системи до стану рівноваги (x). Тому поточний стан керованої системи повинний визначатися двома тенденціями (u і x), а їхня кінетична траєкторія процесу може бути отримана прямим чисельним інтегруванням рівняння (1).

Кінетичні константи для кожного процесу і навіть агрегату індивідуальні і можуть бути знайдені лише статистично.

Ключовим елементом системи керування є термодинамічний розрахунок хімічного складу продуктів плавки по даним про вихідні матеріали і енергоносії, що надійшли в піч.

Розрахунок хімічного складу продуктів плавки полягає в наступному:

1. Записують безліч можливих реакцій у виді стехіометричних рівнянь $mA + nB = pC + qD$.

2. На підставі закону діючих мас, для кожної реакції записують вираження константи рівноваги.

3. Спільним рішенням рівнянь для констант рівноваги визначають склад фаз, що утворилися.

Однак, розрахунок, заснований на стехіометричних рівняннях реакцій і законі діючих мас, для систем, що включають конденсовані фази, строгого рішення не має, тому що вид і сам факт існування молекул чи іонів інших стехіометричних утворень у конденсованих фазах, таких як метал чи шлак, дотепер є дискусійним. Тому той самий процес можна описати безліччю різних реакцій і одержати безліч істотно різних рішень. У цьому складається головна причина низької точності прогнозу складу продуктів плавки у відомих моделях.

Формули, використовувані в пропонованому способі, включають наступні особливості, що дозволяють досягти необхідну для керування точність:

1. Компонентами усіх фаз вважають елементи Періодичної системи й електрони.
2. Незалежними одиницями теплового руху при статистичному розрахунку ентропії конденса-

ваних фаз вважають атоми хімічних елементів і електрони.

Відповідно до законів термодинаміки система метал - шлак - газ у стані рівноваги характеризується завданням $k+2$ змінних - температури, тиску і мас утворюючих її компонентів:

$$G=G(T,P,m_1,m_2,\dots,m_k) \quad (2)$$

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, $P \approx 101 \text{ кПа}$).

Після розплавлення вихідних матеріалів система розпадеться на три фази - метал, шлак і газ, при цьому маса кожного елемента m_i розділиться на три частини:

$$m_i = m_{[i]} + m_{(i)} + m_{(g)} \quad (3)$$

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

Задача визначення хімічного складу фаз зводиться до знаходження значень цих $3k$ мас, для чого необхідно мати стільки ж рівнянь. З огляду на те, що вільна енергія системи є сумою вільних енергій фаз:

$$G = G_{\text{мет}} + G_{\text{шл}} + G_{\text{газ}} \quad (4)$$

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

$$G_{\text{мет}} = G_{\text{мет}}(T, P, m_{[1]}, m_{[2]}, \dots, m_{[k]}) \quad (5)$$

$$G_{\text{шл}} = G_{\text{шл}}(T, P, m_{(1)}, m_{(2)}, \dots, m_{(k)}) \quad (6)$$

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

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

$$\mu_{[i]} = \mu_{(i)} = \mu_{(g)} \quad (8)$$

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.

3. Ентропію обчислюють статистично за формулою Больцмана, якщо прийняти за незалежні одиниці теплового руху металу і шлаку (у металі і шлаку) атоми й електрони.

Експериментально встановлено, що теплоємність пропорційна числу атомів і «теплових» електронів, що утворюють фазу.

4. Конфігураційну ентропію - i -го компонента у фазі обчислюють по формулі:

$$S_i = R \cdot \ln \frac{x_i}{\sum_{j=1}^k x_j \exp \frac{\varepsilon_{j,i}}{RT}} \quad (9)$$

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;

$\varepsilon_{j,i}$ - енергія перестановки атомів у та i , Дж/моль, що обчислюється по формулі:

$$\varepsilon_{j,i} = \left(\chi_i^{1/2} - \chi_j^{1/2} \right)^2 \quad (10)$$

де: χ_i , χ_j - енергетичні параметри елементів і тау, відповідно, у фазі, Дж/моль.

Облік енергетичної нееквівалентності перестановок при обчисленні термодинамічної імовірності, що входить у формулу обчислення ентропії, підвищує точність розрахунку рівноважного складу конденсованих фаз (металу і шлаку).

Температуру визначають з балансу енергії, що надійшла, і різниці ентальпій вихідних матеріалів і продуктів плавки. Звичайно теплоту, що виникає при введенні того чи іншого матеріалу в систему обчислюють за тепловими ефектами хімічних реакцій. Ці ефекти сильно залежать від хімічного складу металу і шлаку, у які вводяться ці добавки. Вплив складу фаз на теплові ефекти враховано у формулі:

$$H = \prod \chi_i^{x_i} - \sum \chi_i x_i \quad (11)$$

де: H - ентальпія шлаку, Дж/моль;

χ_i - енергетичний параметр елемента і у шлаку, Дж/моль;

x_i - мольна частка елемента і у фазі.

Температура, тиск і маси, що входять у (5)-(7), утворюють вектор станів у моделі металургійної плавки (1):

$$x = (x_1, \dots, x_n) = (T, P, m_{[1] \dots [k]}, m_{(1) \dots (k)}, m_{(1) \dots (k)}) \quad (12)$$

$$n = 3k + 2 \quad (13)$$

Вектором керувань у моделі (1) є повний перелік використовуваних у плавці матеріалів і енергоносіїв, а також гази, що віддаляються з печі, скачуваний шлак, викиди й ін.

Прийнятий у пропонованому способі розрахунок температури з різниці ентальпій матеріалів, що вводяться, і продуктів плавки, що утворюються, дозволяє значно підвищити точність розрахунку температури.

Кінетичні константи в процесі металургійної плавки визначають у

такий спосіб:

1. На кожному i -ому часовому інтервалі (dt_i) продукви в об'єм металу вводять порцію кисню dm_0 (по витратомірі).

2. Відбувається спалювання еквівалентній цій масі маси металу dm_{Me} , з утворенням певної кількості шлаку (масою $dm_{\text{шл}}$) і газу (масою $dm_{\text{газ}}$), що відповідають поточному середньому складу металу.

3. Отримана маса газу $dm_{\text{газ}}$ віддаляється в атмосферу, а маса шлаку $dm_{\text{шл}}$ що утворилася, змішується з основною масою шлаку.

4. Частина шлаку масою dm_1 , яку визначають по формулі

$$dm_1 = m_{\text{шл}} \cdot K_k \quad (14)$$

де dm_1 - маса частини шлаку, кг;

$m_{\text{шл}}$ - маса всього шлаку, кг;

K_k - статистично обумовлений, кінетичний коефіцієнт;

і приводять до рівноваги з металом, у результаті одержують метал, шлак і газ з відмінними від первісних масами і хімічними складами. Цей шлак змішують з основною масою шлаку, а газ видаляють в атмосферу.

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

З матеріального й енергетичного балансів у кожному циклі обчислюють зміну температури металу, шлаку і газу.

Керування плавкою починають з моменту введення енергоносіїв (кисню), з інтервалом у 5-90 секунд фіксують фактичні зведення про кількість уведених за цей період плавки матеріалів і енергії. Обчислюють сумарну кількість рідкої ванни - металу і шлаку за відомими формулами швидкості плавлення, розчинення й ін.

Одночасно роблять порівняння поточних параметрів плавки з попереднім завданням, виробляють оптимальні керуючі впливи і передають їх на виконавчі механізми.

Оскільки система в будь-який момент часу дозволяє прогнозувати кінцеві результати плавки, обумовлені тим чи іншим набором керуючих впливів, з'являється можливість на всьому протязі плавки відшукання такого набору впливів, що приводить до найкращих результатів. Наприклад, якщо представити матеріальні потоки у вартісному вираженні, можна визначити синтез керуючих впливів, що відповідають мінімуму витрат.

Таким чином, у результаті знайдених технологічних параметрів, а також уточнених термодинамічних і кінетичних розрахунків підвищена точність керування металургійною плавкою за рахунок оптимізації плавки в динамічному режимі.

Приклад. Виплавку залізовуглецевого напівпродукту проводили в 60 кілограмовому кисневому конвертері з верхньою продувкою. Відповідно до пропонованого способу перед початком плавки виробили попереднє завдання на плавку, відповідно до якого було потрібно одержати після продувки залізовуглецевий продукт хімічного складу, %: C=0,04-0,06; Mn=0,05-0,10; Si=0,002-0,010; S=0,005-0,012; P=0,007-0,015, при температурі 1650°C.

Орієнтована вартість залізовуглецевого напівпродукту, визначена на підставі матеріального балансу, складає 100 доларів США за тону.

На дно конвертера завантажували 2,5кг вапна і заливали 50кг чавуна з температурою 1280°C наступного хімічного складу, %: C=3,9; Mn=0,72; Si=0,80; S=0,040; P=0,020.

Ванну продували киснем з інтенсивністю 4м³/т-мін (зміст кисню 99,2%) через верхню фурму із соплом діаметром 2мм, розташовану на відстані 60мм над рівнем спокійного металу. Одночасно з початком продувки ванни киснем і до закінчення процесу визначали масу, хімічний склад металу, шлаку, газу і їхню температуру на 5, 50, 90 секундах, потім на 3хв.15сек., 4хв.45сек. і перед закінченням плавки на 6хв.40сек., 7хв.10сек. і 7хв.55сек.

Хімічний склад металу, шлаку і газу визначали на підставі вхідних і поточних даних про процес продувки - витрати шихтових матеріалів, кисню, положення фурми й ін. шляхом оцінки матеріального балансу і термодинамічного розрахунку поточного складу фаз метал - шлак - газ відповідно до пропонованого обчислення параметра стану. Температуру металу шлаку і газу визначали відповідно до пропонованого обчислення з балансу енергії, що надійшла, і різниці ентальпій вихідних матеріалів і продуктів плавки. Визначені таким

чином параметри процесу надходили до блоку керування, у якому на підставі оптимізації вартості залізовуглецевого напівпродукту, виробляли керуючі впливи на виконавчі механізми - у даному прикладі - це положення фурми і витрата кисню. Продувку припинили після закінчення 8 хвилин, після чого відібрали з конвертера проби на хімічний аналіз металу, шлаку і замірили температуру.

У таблиці приведені дані про керування конвертерною плавкою по заявленому способі (п.1-5 табл.) і найближчому аналогу (п.6-9 табл.).

З даних, приведених у таблиці, видно, що на 4-й хвилині продувки відбулося зменшення інтенсивності подачі кисню, що привело до підвищення вартості залізовуглецевого напівпродукту. Після оптимізації процесу керування - видачі виконавчим механізмам коригувальних (уточнених) значень інтенсивності подачі кисню з результатів прогнозів, видаваних блоком керування протягом 90 секунд (п.3 табл.) прогноз вартості залізовуглецевого напівпродукту змінився убік заданого.

Фактичні значення хімічного складу металу, шлаку і температури з високою точністю збіглися з прогнозованими (п.5 табл.).

Виплавку залізовуглецевого напівпродукту відповідно до найближчого аналога проводили в 60 кілограмовому кисневому конвертері з верхньою продувкою. Перед початком плавки виробили попереднє завдання на плавку, відповідно до якого було потрібно одержати після продувки залізовуглецевий напівпродукт хімічного складу, %: C=0,04-0,06; Mn=0,05-0,10; Si=0,002-0,010; S=0,005-0,012; P=0,007-0,015, при температурі 1650°C з орієнтованою вартістю 100 доларів США за тону.

Ванну продували киснем з інтенсивністю 4м³/т-мін (зміст кисню 99,2%) через верхню фурму із соплом діаметром 2мм, розташовану на відстані 60 мм над рівнем спокійного металу.

Після продувки металу киснем у кількості 85% від заданого, відібрали пробу металу, шлаку і замірили температуру (п.7 табл.).

За даними про температуру і хімічний аналіз металу і шлаку відкоригували завдання на другий період плавки (п.8 табл.), і знову продули метал киснем у кількості, що відповідає відкоректованому завданню.

Після закінчення продувки відібрали проби металу і шлаку на хімічний аналіз і замірили температуру (п.9 табл.).

Загальний час продувки склав 8,4хв., затримка на добір проби, вимір температури й одержання даних про хімічний аналіз - 1,5хв.

Згідно з даними, приведеними у таблиці, у прикладі конкретної плавки, проведеної за заявленим способом, зміни параметрів процесу плавки в перші 90 секунд не відбувалося, тому не здійснювали вироблення керуючих впливів на виконавчі механізми. Надалі, в міру протікання процесу металургійної плавки, особливо перед її закінченням інтервал вироблення керуючих впливів на виконавчі механізми зменшувався й в остаточний період плавки складав 5 секунд.

Як впливає з даних, приведених у таблиці, у прикладі конкретної плавки, проведеної відповідно до заявленого способу, підвищена точність керування металургійною плавкою. Підвищення точно-

сті приводить до збільшення продуктивності і скороченню витрат за рахунок підвищення технологічної дисципліни, дозволяє відслідковувати несанкціоновані зміни в процесі плавки і нівелювати їх за

допомогою пристосовних констант. Отримані результати відповідно до заявленого способу свідчать про реалізацію можливості повного переходу на ведення плавки в автоматичному режимі.

№	Час виміру, хв-сек	Витрата кисню, м ³ /т-хв	Хімічний склад, %											Н, Дж/моль	Темпера- тура °С	Вартість дол США	
			металу					шлаку					газу				
			C	Mn	Si	S	P	FeO	CaO	SiO ₂	MgO	MnO	CO	CO ₂			
1		4,00	0,04- 0,06	0,05- 0,1	0,002- 0,010	0,05- 0,012	0,007- 0,015	15,0- 30,0	40,0- 50,0	12,0- 16,0	5,0- 7,0	5,0- 10,0			1650	100,0	
2	0-05	4,00	3,90	0,70	0,800	0,040	0,020	1,4	0,5	92,0	0,1	6,00	99,994	0,007	-235,7	1280	100,0
	0-50	4,00	3,80	0,65	0,710	0,040	0,018	2,8	2,1	84,0	0,6	10,50	99,988	0,012	-239,8	1290	100,0
	1-35	4,00	3,50	0,54	0,500	0,040	0,016	4,4	3,2	78,0	1,2	13,20	99,950	0,050	-244,2	1320	100,0
3	3- 15	3,80	1,50	0,38	0,210	0,030	0,012	42,0	36,0	18,0	3,7	0,30	99,929	0,071	-262,6	1560	106,0
	4-00	4,30	1,20	0,35	0,200	0,028	0,012	40,0	38,0	18,0	3,8	0,20	99,922	0,078	-264,8	1575	104,0
	4-45	4,10	0,92	0,32	0,180	0,025	0,010	36,0	40,0	19,0	4,7	0,30	99,913	0,087	-266,8	1580	103,0
4	6-40	3,95	0,08	0,09	0,006	0,010	0,011	21,0	48,0	15,0	5,5	10,50	94,000	6,000	-274,7	1640	101,0
	7- 10	4,05	0,07	0,08	0,004	0,009	0,011	23,0	49,0	14,5	5,5	8,00	92,400	7,600	-275,1	1643	100,0
	7-55	4,05	0,05	0,07	0,003	0,009	0,011	24,0	49,0	14,7	5,6	6,70	91,400	8,600	-275,1	1649	99,5
5	Кінець		0,05	0,07	0,003	0,009	0,011	23,0	50,0	15,0	5,7	6,30				1647	99,4
6	проект плавки	4,00	0,04- 0,06	0,05- 0,1	0,002- 0,010	0,05- 0,012	0,007- 0,015	15,0- 30,0	40,0- 50,0	12,0- 16,0	5,0- 7,0	5,0- 10,0				1650	100,0
7	7-40		0,07	0,10	0,005	0,014	0,017	26,0	47,0	15,7	5,0	2,80				1580	108,0
8	уточнен проект	4,80	0,04- 0,06	0,05- 0,1	0,002- 0,010	0,05- 0,012	0,007- 0,015	15,0- 30,0	40,0- 50,0	12,0- 16,0	5,0- 7,0	5,0- 10,0				1650	100,0
9	Кінець		0,03	0,05	0,001	0,012	0,017	31,0	43,0	14,2	6,0	5,80				1670	104,2