



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 34651

(13) A

(51) 6 C21B5/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС

ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВИНАХІДвидається під
відповідальністю
власника
патенту

(54) СПОСІБ РОБОТИ ДОМЕННОЇ ПЕЧІ

(21) 98115872

(22) 04.11.1998

(24) 15.03.2001

(46) 15.03.2001, Бюл. № 2, 2001 р

(72) Севернюк Володимир Васильович, Нечепоренко Володимир Андрійович, Лялюк Віталій Павлович, Зусмановський Олександр Яковлевич, Пустоветов Сергій Васильович, Костенко Георгій Петрович

(73) КРИВОРІЗЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНИЙ КОМБІНАТ "КРИВОРІЖ-СТАЛЬ"

(57) 1. Спосіб роботи доменної печі, що включає завантаження на колошник коксу, залізорудних і флюсоукуючих матеріалів, подачу у горн через фурми дуття, який відрізняється тим, що при зміні металоургійних характеристик сировини і коксу, а також параметрів дуття, змінюють кількість працюючих на печі фурм, визначаючи їх число з виразу

$$n = 3 \sqrt{-\frac{g}{2} + \sqrt{\frac{g^2}{4} + \frac{c^3}{27}}} + 3 \sqrt{-\frac{g}{2} - \sqrt{\frac{g^2}{4} + \frac{c^3}{27}}} + b,$$

де

$$g = -\frac{2a^3}{27E_{\text{оп}}^3} - \frac{b}{E_{\text{оп}} \cdot S_{\text{ф}}^2};$$

$$c = -\frac{a^2}{3E_{\text{оп}}^2};$$

$$h = \frac{a}{3E_{\text{оп}}};$$

при повітряному дутті:

$$a = 371,2 \cdot Q_{\text{ос}} \cdot T_{\text{ос}};$$

$$b = 68877,6 \frac{\rho_{\text{ос}} \cdot Q_{\text{ос}}^3 \cdot T_{\text{ос}}^2}{P_{\text{д}}^2};$$

де $Q_{\text{ос}}$ – нормальна витрата дуття, виміряна приладами на печі, $\text{м}^3/\text{с}$; $\rho_{\text{ос}}$ – нормальна густина повітря $\text{кг}/\text{м}^3$; $T_{\text{ос}}$ – температура дуття, К; $P_{\text{д}}$ – тиск дуття, Па; $S_{\text{ф}}$ – площа перетину фурми, м^2 ; $E_{\text{оп}}$ – повна оптимальна механічна енергія потоку повітряного дуття, Дж/с; при комбінованому дутті у виразах g , c , h необхідно замінити $E_{\text{ос}}$ на $E_{\text{осм}}$, а:

$$a = 371,2 \cdot Q_{\text{осм}} \cdot T_{\text{осм}};$$

$$b = 68877,6 \frac{\rho_{\text{осм}} \cdot Q_{\text{осм}}^3 \cdot T_{\text{осм}}^2}{P_{\text{д}}^2};$$

де $Q_{\text{осм}}$ – нормальна витрата газоповітряної суміші, $\text{м}^3/\text{с}$; $\rho_{\text{осм}}$ – нормальна густина газової суміші $\text{кг}/\text{м}^3$; $T_{\text{осм}}$ – температура суміші газів у порожнині фурми, К; $E_{\text{осм}}$ – повна оптимальна механічна енергія потоку комбінованого дуття, Дж/с; при цьому повну оптимальну механічну енергію потоку повітряного дуття або повну оптимальну механічну енергію потоку комбінованого дуття визначають у попередні періоди роботи печі, виходячи з умов дотримання рівного ходу печі при максимальній продуктивності і мінімальному розходоу коксу.

2. Спосіб роботи доменної печі по п. 1, який відрізняється тим, що закривають фурми рівномірно по колу печі, вибираючи найбільш інтенсивно працюючі, а відкривають, також дотримуючись рівномірності розподілу дуття по колу печі, при тривалому режимі роботи доменної печі з великим числом закритих фурм здійснюють заміну закритих фурм на інші – діаметрально протилежні або поряд розташовані з ними, інтенсивно працюючі фурми.

Винахід належить до галузі чорної металургії, зокрема до доменного виробництва, а саме до способів керування роботою доменної печі "знизу", за рахунок зміни кількості працюючих фурм, при забезпеченні сталості

повної оптимальної механічної енергії потоку дуття.

Відомий спосіб ведення доменної плавки, в якому реєструють протягом деякого часу параметри ходу печі і приймають зміну цих пара-

(19) UA (11) 34651 (13) A

метрів як еталонну. Потім в другий період роботи печі порівнюють параметри її ходу з еталонними, реєструють, таким чином, аномальний режим. Коли відхилення від еталонної зміни параметрів будуть перевищувати задану величину, знижують розхід дуття і рівень засипі. Далі видержують піч на установленому режимі, доки різниця параметрів по колу шахти не виявиться у заданих межах, після чого піч повертають до стабільного режиму роботи (Заявка № 58-33283 Японія. Спосіб ведення доменної плавки. Кл. С21В5/00, 1983).

Недоліком цього способу є те, що він не передбачає оперативного керування газорозподілу по радіусу горна, яке погіршується при зниженні розходу дуття, навіть, незважаючи на зниження рівня засипі, яке приводить до підгрузки периферії печі залізородними матеріалами і розкриттю її центра.

Відомий спосіб керування роботою доменної печі, в якому передбачено у період роботи доменної печі з пониженим розходом дуття відключати фурму, розташовану поряд одна одної, так, що фурми, які відключені, утворюють групу. При переході на режим з підвищеним розходом дуття фурми, які відключені включають послідовно, починаючи з крайніх у групі (Заявка № 52-7204 Японія. Спосіб керування роботою доменної печі. Кл. С21В5/00, 1982).

Недоліком даного способу є те, що як критерій оптимальності радіального газорозподілу в горні печі вибрано розхід дуття через одну фурму, який не є визначаючим критерієм довжини зони горіння і глибини проникнення газів до центру горна. В результаті чого помилка у точності регулювання складає 2-3 фурми, крім цього, закриття фурми групами приводить до погіршення рівномірності розподілу дуття по колу печі. Закривати фурми необхідно рівномірно по колу, вибираючи найбільш інтенсивно працюючі.

Найбільш близьким до винаходу є спосіб роботи доменної печі, включаючий загрузку на колошник коксу, залізородних і флюсуючих матеріалів, подачу у горні через фурми дуття, оптимальну кількість котрого вибирають із умов дотримання рівного ходу печі, тобто умов, які сприяють досягненню максимальної продуктивності при мінімальному розході палива (Ефименко Г.Г., Гиммельфарб А.А., Левченко В.Е. Металургія чугуна, Київ, Вища школа, 1981, с. 445-447).

Недоліком прототипу є те, що спосіб не передбачає оперативного керування радіальним газорозподілом у горні доменної печі при зміні металургійних (гранулометричних і міцностних) характеристик залізородної сировини і коксу, а також параметрів комбінованого дуття. Це приводить до змін довжини зони горіння і глибини проникнення газів до центру горна, із-за чого порушується рівний хід печі, знижується її продуктивність і росте розхід коксу.

Стає задача збільшення продуктивності доменної печі і зниження розходу коксу за рахунок пучкого і оперативного регулювання газорозподілу по радіусу горна, при збереженні рівномірності подачі дуття по колу печі в періоди змін металургійних (гранулометричних і міцностних) характеристик залізородної сировини і коксу, а також зміни параметрів дуття (відсутності

природного газу або кисню і (або) зниження температури дуття із-за ремонту повітронагрівників і т.і.).

Поставлена задача досягається тим, що спосіб роботи доменної печі, включаючий загрузку на колошник коксу, залізородних і флюсуючих матеріалів, подачу у горні через фурми дуття, має суттєві відмінності, які полягають у тому, що при змінюванні металургійних характеристик сировини і коксу, а також параметрів дуття, змінюють кількість працюючих фурм на печі, знаходячи їх кількість з виразу:

$$n = \sqrt[3]{-\frac{g}{2} + \sqrt{\frac{g^2}{4} + \frac{c^3}{27}}} + \sqrt[3]{-\frac{g}{2} - \sqrt{\frac{g^2}{4} + \frac{c^3}{27}}} + h,$$

де

$$g = -\frac{2a^3}{27E_{\text{оп}}^3} - \frac{b}{E_{\text{оп}} \cdot S_{\text{ф}}^2};$$

$$c = -\frac{a^2}{3E_{\text{оп}}^2};$$

$$h = \frac{a}{3E_{\text{оп}}};$$

при повітряному дутті:

$$a = 371,2 \cdot Q_{\text{од}} \cdot T_{\text{д}};$$

$$b = 68877,6 \frac{\rho_{\text{од}} \cdot Q_{\text{од}}^3 \cdot T_{\text{д}}^2}{P_{\text{д}}^2};$$

де $Q_{\text{од}}$ – нормальний розхід дуття, виміряний приладами на печі, м³/с; $\rho_{\text{од}}$ – нормальна густина повітря кг/м³; $T_{\text{д}}$ – температура дуття, К; $P_{\text{д}}$ – тиск дуття, Па; $S_{\text{ф}}$ – площа перетину фурми, м²; $E_{\text{оп}}$ – повна оптимальна механічна енергія потоку повітряного дуття, Дж/с;

при комбінованому дутті у вираженнях g , c , h необхідно замінити $E_{\text{оп}}$ на $E_{\text{оп кд}}$, а:

$$a = 371,2 \cdot Q_{\text{опкд}} \cdot T_{\text{опкд}};$$

$$b = 68877,6 \frac{\rho_{\text{опкд}} \cdot Q_{\text{опкд}}^3 \cdot T_{\text{опкд}}^2}{P_{\text{д}}^2}.$$

де $Q_{\text{опкд}}$ – нормальний розхід газоповітряної суміші, м³/с; $\rho_{\text{опкд}}$ – нормальна густина газової суміші кг/м³; $T_{\text{опкд}}$ – температура суміші газів у порожнині фурми, К; $E_{\text{оп кд}}$ – повна оптимальна механічна енергія потоку комбінованого дуття, Дж/с.

При цьому повну оптимальну механічну енергію потоку повітряного дуття або повну оптимальну механічну енергію потоку комбінованого дуття визначають у попередні періоди роботи печі, виходячи із умов дотримання рівного ходу печі при максимальній продуктивності і мінімальному розході коксу.

Закривають фурми рівномірно по колу печі, вибираючи найбільш інтенсивно працюючі, а відкривають, також дотримуючись рівномірності розподілу дуття по колу печі. При тривалому режимі роботи доменної печі з великою кількістю закритих фурм проводять заміну закритих фурм на інші – діаметрально протилежні.

Спосіб здійснюється таким чином.

На копошник доменної печі загрузають залізородні матеріали, флюс, кокс і т. і. У горні доменної печі подають комбіноване дуття. З горна випускають рідкі продукти плавки – чауун і шлак.

При змінюванні металургійних характеристик сировини і коксу (гранулометричних і міцностних, що спостерігається навіть при змінній поставальників або ритмічності їх постачання), а також параметрів дуття (відсутність природного газу або кисню (або) зниження температури дуття із-за ремонту вітронагрівників і т. і.), змінюють кількість працюючих на печі фурм, визначаючи їх число з виразу:

$$n = \sqrt[3]{-\frac{g}{2} + \sqrt{\frac{g^2}{4} + \frac{c^3}{27}}} + \sqrt[3]{-\frac{g}{2} - \sqrt{\frac{g^2}{4} + \frac{c^3}{27}}} + h,$$

де

$$g = -\frac{2a^3}{27E_{\text{оп}}^3} - \frac{b}{E_{\text{оп}} \cdot S_{\text{ф}}^2};$$

$$c = -\frac{a^2}{3E_{\text{оп}}^2};$$

$$h = \frac{a}{3E_{\text{оп}}};$$

При повітряному дутті:

$$a = 371,2 \cdot Q_{\text{ад}} \cdot T_{\text{д}};$$

$$b = 68877,6 \frac{\rho_{\text{ад}} \cdot Q_{\text{ад}}^3 \cdot T_{\text{д}}^2}{P_{\text{д}}^2};$$

де $Q_{\text{ад}}$ – нормальний об'ємний розхід дуття, $\text{м}^3/\text{с}$; $\rho_{\text{ад}}$ – нормальна густина повітря $\text{кг}/\text{м}^3$; $T_{\text{д}}$ – температура дуття, К ; $P_{\text{д}}$ – тиск дуття, Па ; $S_{\text{ф}}$ – площа перетину фурми, м^2 ; $E_{\text{оп}}$ – повна оптимальна механічна енергія потоку повітряного дуття, $\text{Дж}/\text{с}$.

Повну механічну енергію потоку повітряного дуття на зрізі фурми доменної печі визначають з рівняння:

$$E_{\text{оп}} = 371,2 \frac{Q_{\text{ад}} \cdot T_{\text{д}}}{n} + 68877,6 \frac{\rho_{\text{ад}} \cdot Q_{\text{ад}}^3 \cdot T_{\text{д}}^2}{n^3 \cdot S_{\text{ф}}^2 \cdot P_{\text{д}}^2}, \text{Дж}/\text{с}.$$

При комбінованому дутті у вираженнях g , c , h необхідно змінити $E_{\text{оп}}$ на $E_{\text{оп кд}}$, а:

$$a = 371,2 \cdot Q_{\text{опк}} \cdot T_{\text{опк}};$$

$$b = 68877,6 \frac{\rho_{\text{опк}} \cdot Q_{\text{опк}}^3 \cdot T_{\text{опк}}^2}{P_{\text{д}}^2};$$

де $Q_{\text{опк}}$ – нормальний розхід газоповітряної суміші, $\text{м}^3/\text{с}$; $\rho_{\text{опк}}$ – нормальна густина газової суміші $\text{кг}/\text{м}^3$; $T_{\text{опк}}$ – температура суміші газів у порожнині

фурми, К . $E_{\text{оп кд}}$ – повна оптимальна механічна енергія потоку комбінованого дуття, $\text{Дж}/\text{с}$.

Повну механічну енергію потоку комбінованого дуття визначають з виразу:

$$E_{\text{оп кд}} = 371,2 \frac{Q_{\text{опк}} \cdot T_{\text{опк}}}{n} + 68877,6 \frac{\rho_{\text{опк}} \cdot Q_{\text{опк}}^3 \cdot T_{\text{опк}}^2}{n^3 \cdot S_{\text{ф}}^2 \cdot P_{\text{д}}^2}, \text{Дж}/\text{с}$$

Загальна кількість газоповітряної суміші, яка утворюється при горінні природного газу в порожнині фурми доменної печі, складає:

$$Q_{\text{ог}} = Q_{\text{огд}} + Q_{\text{огр}} + 0,75 \eta_r Q_{\text{ог}}, \text{м}^3/\text{с},$$

де $Q_{\text{ог}}$ – нормальний об'ємний розхід природного газу, $\text{м}^3/\text{с}$.

Частка природного газу, яка згоряє у фурмі доменної печі бути знайдена з рівняння:

$$\eta_r = 0,0203 (Q_{\text{огд}} + Q_{\text{огр}})/Q_{\text{ог}}.$$

Хімічний склад газової фази, яка утворилася в результаті згоряння частини природного газу, визначаємо з рівняння:

$$a_{\text{огд}} = a_{\text{ог}} = \frac{0,5 \cdot \eta_r \cdot Q_{\text{ог}}}{Q_{\text{огк}}} \cdot 100, \%,$$

$$a_{\text{огр}} = a_{\text{ог}} = \frac{\eta_r \cdot Q_{\text{ог}}}{Q_{\text{огк}}} \cdot 100, \%,$$

$$a_{\text{ог2}} = \frac{Q_{\text{ог}} \cdot O_2 - 1,25 \cdot \eta_r \cdot Q_{\text{ог}}}{Q_{\text{огк}}} \cdot 100, \%,$$

$$a_{\text{ог4}} = \frac{(1 - \eta_r) \cdot Q_{\text{ог}}}{Q_{\text{огк}}} \cdot 100, \%,$$

$$a_{\text{ог2}} = 100 - (a_{\text{огд}} + a_{\text{ог}} + a_{\text{огр}} + a_{\text{ог2}} + a_{\text{ог4}}), \%,$$

де O_2 – вміст кисню в дутті, $\text{м}^3/\text{м}^3$.

Нормальну густину суміші газів визначаємо по формулі:

$$\rho_{\text{огк}} = \frac{1}{100} (a_{\text{ог}} \cdot 1,25 + a_{\text{ог2}} \cdot 1,963 + a_{\text{огр}} \cdot$$

$$\cdot 0,806 + a_{\text{ог2}} \cdot 0,0898 + a_{\text{ог4}} \cdot 1,429 + a_{\text{ог4}} \cdot 0,717 +$$

$$+ a_{\text{ог2}} \cdot 1,25), \text{кг}/\text{м}^3.$$

Температуру суміші газів в порожнині фурми визначимо з рівняння теплового балансу цієї порожнини:

$$T_{\text{ог}} = \frac{Q_{\text{д}} + G_{\text{р}} + G_{\text{ш}} + U_{\text{ог}}}{0,5 \eta_r \cdot Q_{\text{ог}} \cdot (c_{\text{огд}} + c_{\text{ог2}}) + \eta_r \cdot Q_{\text{ог}} \cdot (c_{\text{огр}} + c_{\text{ог2}}) + (1 - \eta_r) \cdot Q_{\text{ог}} \cdot c_{\text{огк}} + \dots} \cdot \frac{1}{+ (Q_{\text{ог}} \cdot O_2 - 1,25 \eta_r \cdot Q_{\text{ог}}) \cdot c_{\text{ог2}} + (a_{\text{ог2}}/100) \cdot Q_{\text{ог}} \cdot c_{\text{ог2}}}, \text{К};$$

де G_d і G_r – кількість тепла, внесені дуттям і природним газом, відповідно, Дж/с, $G_{\text{н}}$ і $G_{\text{п}}$ – кількість тепла, яке виділяється при неповному і повному горінні природного газу, Дж/с, C_{CO_2} , C_{H_2} , $C_{\text{H}_2\text{O}}$, C_{CH_4} , C_{CO} і C_{H_2} – питомі об'ємні теплоємності оксиду вуглецю, вуглекислоти, водню, вогкості метану, кисню і азоту, відповідно, при постійному об'ємі Дж/(м³ К).

Кількість тепла, внесені дуттям і природним газом, а також кількість тепла, котре утворюється при неповному до CO і H₂ і повному до CO₂ і H₂O згоранні частини природного газу знаходять з виражень:

$$G_d = c_{v,d} \cdot Q_{\text{ад}} \cdot T_d, \text{ Дж/с;}$$

$$G_r = c_{v,\text{газ}} \cdot Q_{\text{ст}} \cdot T_r, \text{ Дж/с;}$$

$$G_{\text{н}} = q_{\text{н}} \cdot 0,5\eta_r \cdot Q_{\text{ст}}, \text{ Дж/с;}$$

$$G_{\text{п}} = q_{\text{п}} \cdot 0,5\eta_r \cdot Q_{\text{ст}}, \text{ Дж/с;}$$

де $c_{v,d}$ – питома об'ємна теплоємність дуття при постійному об'ємі, Дж/(м³ К); T_r – абсолютна температура природного газу, К; $q_{\text{н}} = 1348,15$ кДж/м³, $q_{\text{п}} = 35608,73$ кДж/м³ – теплота неповного і повного згорання CH₄.

Повну оптимальну механічну енергію потоку повітряного дуття або повну оптимальну механічну енергію потоку комбінованого дуття визначають у попередній періоді роботи печі, виходячи з умов дотримання рівного ходу печі при максимальній продуктивності і мінімальному розході коксу. Далі повну оптимальну механічну енергію потоку повітряного дуття або повну оптимальну механічну енергію потоку комбінованого дуття періодично уточнюють протягом всієї компанії роботи доменної печі. Закривають фурми рівномірно по колу, вибираючи найбільш інтенсивно працюючі, і відкривають, також дотримуючись рівномірності розподілу дуття по колу печі. При тривалому режимі роботи доменної печі з великою кількістю закритих фурм здійснюють заміну закритих фурм на інші – діаметральнопротилежні.

Приклад здійснення способу.

На доменній печі об'ємом 2000 м³ КГТМК "Криворіжсталь" протягом трьох місяців при рівному ході печі визначали кожен добу повну механічну енергію потоку комбінованого дуття. Установили, що оптимальною є величина цієї енергії рівна 1719000 Дж/с. У цей період у піч загрузали: залізорудну руду 3...5 кг/т, агломерат аглофабрики комбінату 2...5 кг/т, агломерат НК-ГОКу-1 1116...1207 кг/т, окатиши СевГОКу 43...301 кг/т, окатиши ЦГОКу 310...531 кг/т, вапняк

56...74 кг/т. У піч подавали дуття наступних параметрів: розхід 3389...3539 м³/хвил, тиск 2...44 атм, температура 927...1016°C, вміст кисню 23,8...24%. Природний газ вдували у піч у кількості 82...89 м³/т. Тиск газу на колошнику був 1,21...1,38 атм. Піч робила на фурмах діаметром 165 мм. Відкрито було 19...20 із 24 фурм, встановлених на печі. У цей період піч давала виробництво 2868...2953 т/добу при питомому розході коксу 558...578 кг/т.

У наступному місяці змінилися розхідні коефіцієнти постачальників агломерату і окатишів, а також їх міцності і гранулометричні параметри сировини. В коксі зріс вміст класу +80 мм (який дає багато дріб'язку у печі), змінилися параметри дуття і тиск на колошнику. Розрахунки повної механічної енергії потоку комбінованого дуття дали її величину, яка значно відрізняється від оптимальної – 1457053 Дж/с. Погіршилась рівність ходу печі, із-за зменшення довжини зони горіння і глибини проникнення газів до центру горна. Посилився периферійний хід газів у печі. Піч втратила дуття. Використовуючи параметри комбінованого дуття на печі у цей період часу: розхід дуття – 2972 м³/хвил, тиск – 1,67 атм, температуру – 936°C, вміст кисню – 23,3%, кількість природного газу – 62 м³/т та повну оптимальну механічну енергію потоку комбінованого дуття – 1719000 Дж/с і скориставшись приведеним виразом розраховували, що на печі повинно робити у цих умовах 18 фурм. Закрили додатково одну фурму, дотримуючись умови рівномірності розподілу дуття по колу печі. Хід печі поліпшився, виробництво вдалося утримати на рівні 2917 т/сут. при питомому розході коксу 560 кг/т.

В наступному періоді при зміні параметрів дуття і загрузки повна механічна енергія стала рівною 1725929 Дж/с, розрахунок кількості фурм показав, що на печі необхідно мати 19 працюючих фурм. Після відкриття однієї з фурм техніко-економічні показники на печі децю поліпшились і т. і. Протягом роботи доменної печі на ній постійно контролюють зміну повної механічної енергії потоку комбінованого дуття, коли в фурми вдувають природний газ або повної механічної енергії повітряного дуття, якщо природного газу немає. Грунтуючись на критерій рівного ходу печі, визначають і постійно уточнюють величину повної оптимальної механічної енергії. На основі цієї повної механічної енергії постійно уточнюють кількість працюючих на печі фурм, що дозволяє отримати високі техніко-економічні показники роботи доменної печі у різних шихтових і дуттєвих умовах доменної плавки.

Тираж 50 екз.

Відкрите акціонерне товариство «Патент»

Україна, 88000, м. Ужгород, вул. Гагаріна, 101

(03122) 3 – 72 – 69 (03122) 2 – 57 – 03