



УКРАЇНА

(19) UA (11) 61204 (13) A

(51) 7 F27D19/00, F27D21/04

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВИНАХІДВИДАЄТЬСЯ ПІД
ВІДПОВІДАЛЬНІСТЬ
ВЛАСНИКА
ПАТЕНТУ

(54) СПОСІБ ДІАГНОСТИКИ СТАНУ РОБОЧОГО ПРОФІЛЮ ШАХТИ ДОМЕННОЇ ПЕЧІ ТА СИСТЕМА ДЛЯ ЙОГО ЗДІЙСНЕННЯ

1

2

(21) 2002075585

(22) 08 07 2002

(24) 17 11 2003

(46) 17 11 2003, Бюл. № 11, 2003 р.

(72) Васильєв Петро Георгійович, Іващенко Валерій Петрович, Різун Дмитро Валентинович, Кривченко Юрій Сергійович, Гусаров Олександр Сергійович, Жаріков Альберт Миколайович, Набока Володимир Іванович, Крутас Микола Васильович, Півень Олександр Васильович, Волик Анатолій Павлович

(73) УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ІНСТИТУТ ПО ПРОЕКТУВАННЮ МЕТАЛУРГІЙНИХ ЗАВОДІВ, ВІДКРИТЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО "ЗАПОРІЗЬКИЙ МЕТАЛУРГІЙНИЙ КОМБІНАТ "ЗАПОРІЖ-СТАЛЬ"

(57) 1 Спосіб діагностики стану робочого профілю шахти доменної печі, який містить вимірювання температури не менш ніж у двох точках по товщині вогнетривкої футерівки печі на декількох рівнях по висоті вогнетривкої футерівки печі та обчислення товщини вогнетривкої футерівки, який відрізняється тим, що вимірюють температуру периферійних газів під захисними плитами колошника, а температуру вогнетривкої футерівки по її товщині вимірюють у точках, розташованих у одній вертикальній площині з точкою вимірювання температури периферійних газів, при цьому у випадку зносу вогнетривкої футерівки її залишкову товщину визначають з рівняння

$$S^{\Phi} = \frac{t_x - t_2}{t_1 - t_2} \cdot \frac{\lambda}{\lambda_1} \cdot S_{1, \text{м}}, \quad (1)$$

$$\lambda = \frac{\lambda_t^{\Phi} + \lambda_{t_2}^{\Phi}}{2}, \text{Вт/м град}, \quad (2)$$

$$\lambda_1 = \frac{\lambda_t^{\Phi} + \lambda_{t_2}^{\Phi}}{2}, \text{Вт/м град}, \quad (3)$$

де

 $\lambda_t^{\Phi}, \lambda_{t_1}^{\Phi}, \lambda_{t_2}^{\Phi}$ - коефіцієнти теплопровідності матеріалу вогнетривкої набивки датчика при температурах t_x, t_1, t_2 відповідно, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}} \cdot \text{град}$, t_x, t_1, t_2 - температури вогнетривкої футерівки по її товщині (робочого, проміжного зовнішнього шарів), S_1 - відстань між спаями термопар датчика, м, а при створенні на поверхні збереженої вогнетривкої футерівки шару гарнісажу, сумарну товщину футерівки S_{Σ} (збережена кладка та гарнісаж) визначають з наступного рівняння

$$S_{\Sigma} = \frac{t_x - t_2}{t_1 - t_2} \cdot \frac{\lambda_{\Sigma}}{\lambda_1} \cdot S_{1, \text{м}}, \quad (4)$$

$$\lambda_{\Sigma} = \frac{\lambda_{t_x}^{\Gamma} + \lambda_{t_2}^{\Phi}}{2}, \text{Вт/м град}, \quad (5)$$

де

 $\lambda_{t_x}^{\Gamma}$ - коефіцієнт теплопровідності гарнісажу при температурі t_x , Вт/м град визначається експериментально, $t_x = t_r - 100^{\circ}\text{C}$ - температура робочого шару стінки шахти визначається експериментальною залежністю, t_r - температура пічних газів коло стінки печі $^{\circ}\text{C}$ визначається з трьох емпіричних залежностей, встановлених для трьох зон по висоті доменної печі

- верхня - 0,2 висоти

$$t_r = t_n + (1490 - t_n) \cdot \frac{B_1}{H}, ^{\circ}\text{C}, \quad (6)$$

- середня - 0,2 - 0,7 висоти

$$t_r = t_n + (1154 - t_n) \cdot \frac{B_1}{H}, ^{\circ}\text{C}, \quad (7)$$

- нижня - > 0,7 висоти

$$t_r = -83,9 + 1607 \cdot \frac{B_1}{H}, ^{\circ}\text{C}, \quad (8)$$

де

 t_n - температура периферійних газів, зафіксована під захисними плитами колошника у секторі установки термоблока, $^{\circ}\text{C}$, B_1 - відстань від нижньої кромки захисних плит колошника до горизонту установки термоблока, м, H - відстань від горизонту повітряних фурм доменної печі до нижньої кромки захисних плит колошника, м

2 Спосіб за п 1, який відрізняється тим, що в декількох точках по обводу печі вимірюють температуру периферійних газів під захисними плитами колошника та одночасно на кожному рівні темпе-

(13) A

(11) 61204

(19) UA

ратуру вогнетривкої футеровки по її товщині у точках, розташованих в одній вертикальній площині з точкою вимірювання температури периферійних газів

3 Система діагностики стану робочого профілю шахти доменної печі, яка містить підсистему реєстрації температур у вогнетривкій кладці та підсистему визначення товщини вогнетривкої футеровки, яка **відрізняється** тим, що підсистема реєстрації температур у вогнетривкій кладці шахти доменної печі містить термоелектродні датчики, які мають не менш двох термопар, вмонтованих у

датчики на різній відстані по товщині кладки від її робочої поверхні, а також термопари вимірювання температури периферійного газу, встановлені під захисними плитами копошника доменної печі, причому осі термопар периферійного газу розташовані у одній вертикальній площині з осями термоелектродних датчиків

4 Система за п 1, яка **відрізняється** тим, що термоелектродні датчики встановлені на декількох горизонтах по висоті та в декількох точках по обводу печі на кожному горизонті

Група винаходів стосується металургії, зокрема контролю стану робочого профілю доменних печей

Відомий спосіб визначення товщини футеровки теплового агрегату, який містить вимірювання температури у точках по перетину футеровки агрегату (ознаки, що збігаються з ознаками винаходу, який заявляється), визначення проміжку часу між змінами температурного режиму агрегату та змінами температур у контрольованих точках футеровки, визначення товщини футеровки агрегату (див а с CPCP №282363, кл P27D1/16, 1971р)

Недоліком відомого способу є недостатня точність одержаних результатів, обумовлена тим, що спосіб припускає різку (скачкоподібну) зміну температурного режиму агрегату (наприклад, випуск металу) та відповідну йому скачкоподібну зміну температури у контрольованих точках футеровки

У випадку повільної зміни теплових умов на теплосприймаючій поверхні футеровки та відповідної зміни температури у контрольованих точках, стає неможливим визначення з прийнятним ступенем точності часу розповсюдження температурного збурення у ході теплового потоку крізь футеровку, що знижує ступінь точності способу

Відомий пристрій для контролю зносу футеровки доменної печі (див а с CPCP №1477745, МКВ 4 C21B7/24, 1989р) який складається з хвилеводів, вмонтованих до футеровки на різних горизонтах по висоті доменної печі. На верхніх та середніх горизонтах уздовж хвилеводів розміщені термопари, а на нижніх горизонтах на торцях хвилеводів розміщені пірометри випромінювання

Ознакою аналогу, спільною з ознакою пристрою, який заявляється, є наявність термопар на різних горизонтах по висоті доменної печі

Недоліком пристрою є те, що за його допомоги можливе визначення тільки зносу футеровки

Найбільш близьким за технічною сутністю та результатом, який досягається, є спосіб контролю роботи печі, відомий з патента SU №1838743A3, МКВ 5 P27D19/00, 21/04, 1993р

Ознаками винаходу, які збігаються з ознаками технічного рішення, що заявляється, є вимірювання температури не менш, ніж у двох точках по товщині вогнетривкої футеровки печі, визначення товщини вогнетривкої футеровки

Ступінь зносу вогнетривкої футеровки визначають як співвідношення зменшення товщини кла-

дки до її початкової товщини, причому залишкову товщину кладки від її робочої поверхні до найближчої до неї точки реєстрації температур, температуру середовища біля поверхні кладки та коефіцієнт тепловіддачі від робочого середовища до кладки визначають вирішенням системи рівнянь стаціонарної теплопровідності

Недоліком способу є недостатньо висока точність вимірювань та неможливість визначення товщини створеного на поверхні футеровки гарнісажу, тобто неможливість визначення сумарної товщини футеровки (гарнісаж плюс кладка)

Найбільш близькою за технічною суттю та результатом, який досягається, є система діагностики стану робочого профілю шахти доменної печі, за допомогою якої реалізується спосіб контролю роботи печі за патентом SU №1838743A3, МКВ 5 F27D19/00, 21/04, 1993р яка містить підсистему реєстрації температур у кладці, математичне та програмне забезпечення. Підсистема реєстрації температур у кладці містить термопари реєстрації температур у основному матеріалі кладки та не менше ніж у двох додаткових елементах, встановлених у кладці, з вогнетривких матеріалів з відмінними один від одного та матеріалу кладки, значеннями коефіцієнтів теплопровідності

Ознаками прототипу, які збігаються з ознаками технічного рішення, яке заявляється як винахід, є підсистема реєстрації температур у вогнетривкій кладці та підсистема визначення товщини вогнетривкої футеровки

Недоліком системи є неможливість визначення сумарної товщини футеровки у випадку створення на ній гарнісажу (гарнісаж плюс кладка)

В основу групи винаходів поставлено задачу удосконалити контроль за роботою доменної печі шляхом удосконалення способу діагностики стану її робочого профілю, яким передбачений систематичний контроль за зносом вогнетривкої футеровки та створенням на її поверхні різних відкладень, що дозволяє визначати товщину гарнісажу, який утворився, та сумарну товщину кладки та гарнісажу, щоб як-найточніше оцінювати динаміку змін стану профілю печі. Це забезпечить підвищення експлуатаційної надійності доменної печі, підвищення її міжремонтного періоду

Поставлена задача при здійсненні групи винаходів по об'єкту способу вирішується тим, що у способі діагностики стану робочого профілю шахти

доменної печі, який містить вимірювання температури не менш ніж у двох точках по товщині вогнетривкої футеровки печі на декількох рівнях по висоті вогнетривкої футеровки печі та обчислення товщини вогнетривкої футеровки, відповідно до винаходу вимірюють температуру периферійних газів під захисними плитами колошника, а температуру вогнетривкої футеровки по її товщині вимірюють у точках, розташованих у одній вертикальній площині з точкою вимірювання температури периферійних газів, при цьому у випадку зносу вогнетривкої футеровки її залишкову товщину визначають з рівняння

$$S^{\Phi} = \frac{t_x - t_2}{t_1 - t_2} \cdot \frac{\lambda}{\lambda_1} \cdot S_1, \text{ м}, \quad (1)$$

$$\lambda = \frac{\lambda_{t_x}^{\Phi} + \lambda_{t_2}^{\Phi}}{2} \cdot \frac{Bm}{m} \cdot \text{град}, \quad (2)$$

$$\lambda_1 = \frac{\lambda_{t_1}^{\Phi} + \lambda_{t_2}^{\Phi}}{2} \cdot \frac{Bm}{m} \cdot \text{град}, \quad (3)$$

де

$\lambda_{t_x}^{\Phi}, \lambda_{t_1}^{\Phi}, \lambda_{t_2}^{\Phi}$ - коефіцієнти теплопровідності ма-

теріалу вогнетривкої набивки датчика при температурах t_x, t_1, t_2 відповідно, Вт/м·град (визначають за стандартною методикою, обумовленою технологічною інструкцією),

t_x, t_1, t_2 - температура вогнетривкої футеровки по її товщині (робочого, проміжного та зовнішнього шарів),

S_1 - відстань між спаями термопар датчика, м а при створенні на поверхні збереженої вогнетривкої футеровки шару гарнісажу, сумарну товщину футеровки S_{Σ} (збережена кладка та гарнісаж) визначають з наступного рівняння

$$S_{\Sigma} = \frac{t_x - t_2}{t_1 - t_2} \cdot \frac{\lambda_{\Sigma}}{\lambda_1} \cdot S_1, \text{ м}, \quad (4)$$

$$\lambda_{\Sigma} = \frac{\lambda_{t_x}^{\Gamma} + \lambda_{t_2}^{\Phi}}{2} \cdot \frac{Bm}{m} \cdot \text{град}, \quad (5)$$

де

$\lambda_{t_x}^{\Gamma}$ - коефіцієнт теплопровідності гарнісажу

при температурі

t_x , Вт/м·град, який визначається експериментально,

$t_x = t - 100^{\circ}\text{C}$ - температура робочого шару стінки шахти, визначається з експериментальної залежності,

t - температура пічних газів коло стінки печі, $^{\circ}\text{C}$, визначається з трьох емпіричних залежностей, встановлених для трьох зон по висоті доменної печі

- верхня, -0,2 висоти

$$t_n = t_n + (1490 - t_n) \cdot \frac{B_l}{H}, ^{\circ}\text{C}, \quad (6)$$

- середня - 0,2-0,7 висоти,

$$t_n = t_n + (1154 - t_n) \cdot \frac{B_l}{H}, ^{\circ}\text{C}, \quad (7)$$

- нижня-більш за 0,7 висоти

$$t_n = -83,9 + 1607 \cdot \frac{B_l}{H}, ^{\circ}\text{C}, \quad (8)$$

t_n - температура периферійних газів, зафіксована під захисними плитами колошника у секторі установки термоблока, $^{\circ}\text{C}$,

B_l - відстань від нижньої кромки захисних плит колошника до горизонту установки термоблока, м,

H - відстань від горизонту повітряних фурм доменної печі до нижньої кромки захисних плит колошника, м

Крім того, в декількох точках по обводу печі вимірюють температуру периферійних газів під захисними плитами колошника та одночасно на кожному рівні температуру вогнетривкої футеровки по її товщині у точках, розташованих в одній вертикальній площині з точкою вимірювання температури периферійних газів

Прийнято-наслідковий зв'язок між суттєвими відмінними ознаками способу, який заявляється, та технічним результатом, який досягається, полягає у наступному

Кожне з двох рівнянь (1) та [4], які дозволяють визначити знос футеровки або сумарну товщину кладки та гарнісажу, базуються на наступних теплотехнічних принципах контролю профілю доменної печі за показаннями термопар

1 Зв'язок між товщиною футеровки, температурою та часом її зміни встановлюється диференціальним рівнянням теплопровідності, виведеним із закону збереження енергії та закону Фур'є, для вирішення якого стосовно футеровки шахти доменної печі задаються додаткові граничні умови другого роду, які відображають режим змін теплового потоку на поверхні кладки печі, при цьому приймається, що питомий тепловий потік $q = \text{const}$

2 У разі, коли має місце разгар (знос) футеровки (без створення відкладень на її поверхні), умови теплопередачі у футеровці шахти можна розглядати як умови теплопередачі крізь одношарову плоску стінку

Після математичних перетворень, рівняння для розрахунку зносу футеровки має вигляд (і) (фіг 5)

3 У разі збільшення сумарної товщини футеровки (тобто створення на поверхні кладки гарнісажу або охолодів умови теплопередачі необхідно розглядати, як умови теплопередачі крізь двошарову стінку Після математичних перетворень рівняння для розрахунку сумарної товщини футеровки (гарнісаж плюс кладка) має вигляд (4) (фіг 6)

Суттєвими відмінними ознаками способу є

1 Одночасне вимірювання температури по товщині футеровки та температури периферійних газів під захисними плитами колошника

2 Визначення температури периферійного газового потоку на будь-якому горизонті доменної печі на основі експериментально встановленого зв'язку між температурой периферійних газів під захисними плитами колошника та рівнем даного горизонту по висоті доменної печі

3 Вимірювання температури вогнетривкої футеровки по її товщині у точках, розташованих у одній вертикальній площині з точкою вимірювання температури периферійних газів під захисними плитами колошника

4 Визначення коефіцієнтів теплопровідності

гарнісажу на різних рівнях по висоті охолоджуваної частини печі експериментальним шляхом

Таким чином, спосіб, який заявляється, заснований на значеннях технологічних параметрів, таких, як температура газів у прифутеровочній зоні та коефіцієнт теплопровідності гарнісажу, які отримані з високою мірою вірогідності на основі залежностей, встановлених емпіричним шляхом, що у комплексі з вимірюванням температури периферійного газового потоку у прифутеровочній зоні по висоті доменної печі у сукупності з одночасним вимірюванням температури по товщині футеровки у точках, які розташовані у одній вертикальній площині з точкою вимірювання температури периферійних газів, забезпечує більш високу точність способу діагностики робочого профілю шахти доменної печі, тому що це дозволяє визначати сумарну товщину кладки та гарнісажу та їхнє співвідношення

В основу групи винаходів по об'єкту-пристрій поставлено задачу удосконалити контроль за роботою доменної печі шляхом удосконалення системи діагностики стану її робочого профілю, якою передбачений систематичний контроль за зносом вогнетривкої футеровки та створенням на її поверхні різних відкладень, що дозволяє визначати товщину гарнісажу, який утворився, та сумарну товщину кладки та гарнісажу, щоб якнайточніше оцінювати динаміку змін стану профілю печі. Це забезпечить підвищення експлуатаційної надійності доменної печі, підвищення її міжремонтного періоду

Поставлена задача при здійсненні групи винаходів по об'єкту - пристрою вирішується тим, що у системі діагностики стану робочого профілю шахти доменної печі, яка містить підсистему реєстрації температур у вогнетривкій кладці та підсистему визначення товщини вогнетривкої футеровки, відповідно до винаходу, підсистема реєстрації температур у вогнетривкій кладці, шахти доменної печі містить термоелектродні датчики, обладнані не менш, як двома термопарами, встановленими у датчики на різній відстані по товщині кладки від її робочої поверхні, а також термопари вимірювання температури периферійного газу, встановлені під захисними плитами колошника доменної печі, причому всі термопар периферійного газу розташовані у одній вертикальній площині з всіма термоелектродних датчиків

Крім того, термоелектродні датчики встановлені на декількох горизонтах по висоті та в декількох точках по обводу печі на кожному горизонті

Причинно-наслідковий зв'язок між суттєвими відмінними ознаками системи, яка заявляється, та технічним результатом, який досягається, полягає у наступному

Для реалізації закладених до системи діагностики теплотехнічних принципів, які дозволяють системі визначити за вищенаведеними математичними виразами сумарну товщину кладки та гарнісажу та їхнє співвідношення, до неї необхідно ввести

- розподіл температур по товщині футеровки не менш, ніж у 2-х точках (температура проміжного шару кладки та температура її зовнішнього шару), який фіксується за допомогою термоелектродного

датчика,

- температуру периферійних газів, вимірювану під захисними плитами колошника доменної печі у точках, розташованих у одній площині з точками вимірювання температури вогнетривкої футеровки по її товщині

Обладнання системи діагностики стану робочого профілю шахти доменної печі термоелектродними датчиками, які мають не менш ніж 2 термопари, встановлені у футеровці шахти доменної печі на декількох горизонтах по висоті та в декількох точках по обводу печі на кожному горизонті, забезпечує визначення розподілу температур по товщині футеровки

Обладнання системи діагностики термопарами вимірювання температури периферійного газу, встановленими під захисними плитами колошника таким чином, що всі термопар розташовані в одній вертикальній площині з всіма термоелектродних датчиків вимірювання температури по товщині кладки, встановленими у вогнетривкій кладці, забезпечують визначення температури периферійних газів

Зазначені відмінні ознаки забезпечують більш високу точність діагностики стану робочого профілю шахти доменної печі, так як дозволяють визначити сумарну товщину кладки та гарнісажу та їхнє співвідношення

Спосіб діагностики стану робочого профілю шахти доменної печі здійснюється за допомогою системи діагностики стану робочого профілю шахти доменної печі

На кресленнях наведена система діагностики стану робочого профілю шахти печі у групі винаходів, які заявляються, де на фіг 1 зображено підсистему реєстрації температур у вогнетривкій кладці, на фіг 2 - розріз А-А на фіг 1, на фіг 3 - блок - схема алгоритму підсистеми обчислення товщини вогнетривкої футеровки шахти доменної печі, на фіг 4 конструкція та розміщення термодатчика у кладці шахти доменної печі, на фіг 5 - схема для визначення зносу футеровки по показанням термопар, на фіг 6 - схема для визначення сумарної товщини футеровки

Підсистема реєстрації температур у вогнетривкій кладці 1 шахти доменної печі (фіг 1) містить термоелектродні датчики 2, обладнані термопарами 3, встановленими у термодатчики 2 на різній відстані по товщині кладки від робочої поверхні кладки, а також термопари 4 вимірювання температури периферійного газу, встановлені під захисними плитами, колошника доменної печі, причому всі термопар периферійного газу розташовані в одній вертикальній площині з всіма термоелектродних датчиків 2

Термоелектродні датчики 2, встановлені на декількох горизонтах по висоті та в декількох точках по обводу печі на кожному горизонті

Термоелектродний датчик 2 (фіг 4) складається з набору термопар 3, ізольованих одна від одної та від корпусу датчика 2 і розміщених у набивці 5 з вогнетривкого бетону

Зовнішня третина датчика 2 замкнена у металевий корпус 6 з фланцем 7 його кріплення

Датчики 2 встановлюють у спеціальних амбразурах 8, змонтованих по висоті доменної печі - та

закріплених на кожусі 9 доменної печі

Перед задувкою доменної печі у амбразурах 8 встановлюють заглушки (на креспленнях не наведені), через 15-20 дб після задувки печі та завершення температурного росту вогнетривів, під час короткочасної зупинки печі, заглушки витягають, здійснюють розчищення каналів амбразур 8 і до них встановлюють датчики 2 таким чином, що торці вогнетривкої набивки 5 датчиків 2 знаходяться врівень з робочою поверхнею кладки 1, при цьому фланець 7 датчика 2 кріплять балками до фланця 10 з сальниковим ущільненням 11 амбразури 8

Термопару 4 підключені до вторинного приладу 12. У якості вторинного приладу може бути використаний мікроамперметр, а також багатоканальний самописець, фіксуючий покази термопар на діаграмній стрічці

На кожному горизонті встановлені 4-12 датчиків по обводу печі. Розміщення чотирьох датчиків на верхньому горизонті наведено на фіг. 2. Збільшення кількості датчиків на кожному горизонті та кількості горизонтів сприяє збільшенню площі контролю стану робочого профілю футеровки доменної печі та постачанню більш надійної інформації про величину зносу кладки 1 та товщину гарнісажу 13 у будь-який момент часу

Спосіб діагностики стану робочого профілю шахти доменної печі здійснюється наступним чином

За допомогою термодатчиків 2, встановлених у вогнетривкій кладці 1 шахти доменної печі на декількох горизонтах по висоті доменної печі та в декількох точках по обводу на кожному горизонті, вимірюють температуру не менш, ніж у двох точках по товщині вогнетривкої футеровки печі на декількох рівнях по висоті вогнетривкої футеровки

За допомогою термопару 4 вимірюють температуру периферійного газу під захисними плитами колошника, причому температуру вогнетривкої футеровки по її товщині вимірюють у точках, розташованих у одній вертикальній площині з точкою вимірювання температури периферійних газів

Показання термопару, найближчої до робочого простору доменної печі, приймають у якості температури проміжного шару кладки t_1 (фіг. 5, 6), а показання термопару, найбільш віддаленої від робочого простору - у якості температури зовнішнього шару кладки t_2

При цьому, у разі встановлення датчика у охолоджуючій зоні шахти або розпарі, з метою запобігання впливу холодильників на якість вимірювання, зовнішню термопару пропонується розміщувати на відстані більшої або рівній 0,3 м від поверхні холодильників

Температура робочої поверхні футеровки t_x не може бути виміряна безпосередньо у кожний момент часу, з огляду великої технічної складності таких вимірювань

З метою спрощення вимірів, скористалися раніше встановленим співвідношенням, відповідно до якого

$$t_x = t_1 - 100^\circ\text{C}, \text{ де}$$

t_1 - температура пічних газів безпосередньо біля робочої поверхні футеровки, $^\circ\text{C}$

Температура t_x , яку також складно виміряти безпосередньо, може бути визначена розрахунком

вим шляхом як функція

$$t_x = f(t_1, B_i/H),$$

де

t_1 - температура периферійних газів, вимірювання під захисними плитами колошника у секторі встановлення датчика, $^\circ\text{C}$,

B_i - відстань від нижньої кромки захисних плит колошника (рівень встановлення термопару периферійного газу) до горизонту встановлення датчика, м (фіг. 1),

H - висота від рівня повітряних фурм до нижньої кромки захисних плит колошника, м (фіг. 1)

Доменна піч, виходячи з специфіки теплообміну в ній, була розподілена на три зони по висоті

- верхню ($B \leq 0,2 H$),

- середню ($0,2 < B < 0,67 H$),

- нижню ($B \leq 0,67 H$)

Для кожної з цих зон одержані емпіричні рівняння, що дозволяють визначити t_x

- для верхньої зони

$$t_x = t_1 + (1490 - t_1) \cdot \frac{B_i}{H}, ^\circ\text{C}, \quad (6)$$

- для середньої зони,

$$t_x = t_1 + (1154 - t_1) \cdot \frac{B_i}{H}, ^\circ\text{C}, \quad (7)$$

- для нижньої зони,

$$t_x = -83,9 + 1607 \cdot \frac{B_i}{H}, ^\circ\text{C}, \quad (8)$$

Маючи три значення температури на відповідному горизонті (t_x, t_1, t_2), здійснюють розрахунок сумарної товщини футеровки рівнянь теплопровідності для двошарової плоскої стінки

При цьому у випадку зносу вогнетривкої футеровки її залишкову товщину S^{Φ} визначають з рівняння (1)

У випадку створення на поверхні збереженої вогнетривкої футеровки шару гарнісажу сумарна товщина футеровки (кладка плюс гарнісаж) S_{Σ} розраховується з рівняння (4)

Коефіцієнт теплопровідності матеріалу вогнетривкої набивки 5 датчика 2 може бути визначений з довідника

У експериментальному зразку використовувався бетон ШБВ-321, для якого залежність $\lambda(t)$ передається рівнянням,

$$\lambda_t = 0,786 + 1,822 \cdot 10^{-4} \cdot t_1 \cdot \frac{B_m}{m} \cdot \text{град} \quad (9)$$

З метою визначення коефіцієнта теплопровідності гарнісажу, який використовується у рівнянні (5), на основі серії проведених експериментів були складені рівняння, які виражають залежності коефіцієнта теплопровідності гарнісажу λ_g для двох зон по висоті доменної печі

- для верхньої половини охолоджуваної частини шахти

$$\lambda_g = 7,705 - 5,410 \cdot 10^{-3} \cdot t_1 \cdot \frac{B_m}{m} \cdot \text{град}, \quad (10)$$

- для нижньої половини охолоджуваної частини шахти

$$\lambda_g = 14,085 - 15,665 \cdot 10^{-3} \cdot t_1 \cdot \frac{B_m}{m} \cdot \text{град}, \quad (11)$$

де $t_1 = t_x$

Дослідження датчиків у лабораторних та про-

мислових умовах підтверджують працездатність розробленого способу, при цьому абсолютна погрешність складала $0,01 \pm 0,015\text{м}$

Система діагностики стану робочого профілю шахти доменної печі, що наведена на фіг 1,2,3,4, працює наступним чином

На вхід системи (фіг 3) подають величини температури периферійних газів (t_n), виміряної під захисними плитами колошника доменної печі (причому вісь термопар 4 вимірювання температури периферійного газу розташована у одній вертикальній площині з віссю датчика 2, для вимірювання температури кладки 1), температури проміжного шару кладки (t_1) та її зовнішнього шару (t_2), які вимірюються термопарами 3 датчика 2

Значення висоти від нижньої кромки захисних плит колошника до рівня повітряних фурм (Н), від нижньої кромки захисних плит до горизонту встановлення датчика 2 (Ві), мінімально допустима (критична) товщина вогнетривкої футеровки ($S_{кр}$) та максимально допустима товщина гарнісажу 13($S_{кр}^r$) вводяться до системи заздалегідь

Значення температури, зареєстровані у попередніх вимірюваннях, а також попереднє значення товщини футеровки, фіксуються системою у якості вихідних (початкових) величин t_n^0 , t_1^0 , t_2^0 та S^0 - для наступного розрахунку

Першою дією системи є порівняння поточного значення температури проміжного шару кладки t_1 з її вихідним значенням t_1^0 , на предмет істинної нерівності

$$t_1 > t_1^0 \quad (12)$$

У випадку його істинності перевіряється істинність нерівності

$$t_n < t_n^0 \quad (13)$$

У випадку істинності нерівності (13) система "розглядає" випадок зносу (розгару) кладки, обчислюючи залишкову товщину футеровки (S^Φ) з рівняння

$$S^\Phi = \frac{t_x - t_2}{t_1 - t_2} \cdot \frac{\lambda}{\lambda_1} \cdot S_{1,м} \quad (1)$$

$$\lambda = \frac{\lambda_{t_x}^\Phi + \lambda_{t_2}^\Phi}{2} \cdot \frac{Bm}{m} \cdot \text{град} \quad (2)$$

$$\lambda_1 = \frac{\lambda_{t_1}^\Phi + \lambda_{t_2}^\Phi}{2} \cdot \frac{Bm}{m} \cdot \text{град} \quad (3)$$

де

$$\lambda_{t_x}^\Phi, \lambda_{t_1}^\Phi, \lambda_{t_2}^\Phi - \text{коефіцієнт теплопровідності ма-$$

теріалу вогнетривкої набивки датчика при відповідних температурах, Вт/м*град (рівняння, що виявляє залежність $\lambda^\Phi = f(t)$, закладається до системи заздалегідь),

S_1 - відстань між спаями термопар датчика, м (є конструктивним параметром датчика, також закладається до системи заздалегідь)

На наступному етапі розраховується величина зносу футеровки (ΔS)

$$\Delta S = S^0 - S^\Phi \quad (14)$$

і перевіряється, чи не перевищує знос критичного значення, тобто істинність нерівності

$$S^\Phi > S_{кр} \quad (15)$$

У випадку його істинності, система здійснює виведення результатів обчислювань (величин S^Φ , ΔS) на друк та/або дисплей, одночасно запам'ятовуючи їх для використання у наступних розрахунках

Якщо ж нерівність (15) помилкова, тобто залишкова товщина футеровки

$$S^\Phi \leq S_{кр} \quad (16)$$

система подає сигнал про надмірний розпал кладки (звуковий або світловий) та виводить величини S^Φ , ΔS на друк та дисплей

У випадку, якщо нерівність (12) виявляється помилковою, перевіряється істинність нерівності

$$t_n \geq t_n^0 \quad (17)$$

та, якщо вона істинна, система "розглядає" випадок збільшення сумарної товщини футеровки (тобто створення гарнісажу або охолоді), обчислення сумарної товщини футеровки (S_Σ) здійснюється з рівняння

$$S_\Sigma = \frac{t_x - t_2}{t_1 - t_2} \cdot \frac{\lambda_\Sigma}{\lambda_1} \cdot S_{1,м} \quad (4)$$

$$\lambda_\Sigma = \frac{\lambda_{t_x}^\Gamma + \lambda_{t_2}^\Phi}{2} \cdot \frac{Bm}{m} \cdot \text{град} \quad (5)$$

де

$$\lambda_{t_x}^\Gamma, \lambda_{t_2}^\Phi - \text{коефіцієнт теплопровідності гарніса-$$

жу та футеровки відповідних температурах, Вт/м*град (функція $\lambda^\Gamma = f(t)$ закладається до системи заздалегідь)

Далі розраховується товщина створеного гарнісажного шару (S^r)

$$S^r = S_\Sigma - S^0 \quad (18)$$

та перевіряється, чи не перевищує вона максимально припустимого (критичного) значення ($S_{кр}^r$),

$$S^r < S_{кр}^r \quad (19)$$

Якщо нерівність (19) істина, результати обчислень (S_Σ , S^r) виводять на друк та дисплей

Якщо ж нерівність (19) виявляється помилковою, тобто товщина гарнісажу порівнюється з критичним значенням або перевищує його, система подає сигнал про небезпеку охолодотворення у цій зоні, а після видає величини S_Σ та S^r на друк та дисплей

Система постійно здійснює перевірку отриманих результатів так, якщо нерівність (3) виявляється помилковою, розраховується S^Φ з рівнянь (1,2,3), а потім перевіряється нерівність

$$S^\Phi \leq S^0 \quad (20)$$

у випадку істинності якого система визначає величини зносу футеровки (ΔS) з рівняння (14) і далі операції здійснюють за вищевикладеною схемою, з перевіркою нерівності (15), і т.п.

Якщо ж нерівність (20) виявиться помилковою, система "переїде" до визначення сумарної товщини гарнісажу та збереженої вогнетривкої кладки (S_Σ) з рівнянь (4,5), потім до розрахунку товщини гарнісажу (S^r) з рівняння (18) перевірки нерівності (19) та т.п.

Аналогічно, якщо виявляється помилковою

нерівність (17), система здійснює розрахунок S_{Σ} з використанням рівнянь (4,5), далі перевіряють нерівність

$$S_{\Sigma} \geq S^* \quad (21)$$

у випадку істинності якого визначають товщину гарнісажу (S^*) з рівняння (18) та t_n

У разі, якщо нерівність (21) помилкова, система "переходить" до визначення зносу кладки (рівняння 1,2,3), розрахунку величини зносу (ΔS) з рівняння (14) та t_n

Таким чином, група винаходів забезпечує одержання систематичної інформації про розпал вог-

нетривкої кладки та про створення на її поверхні різних відкладень - гарнісажу та охолодей, що дозволяє своєчасно приймати технологічні заходи впливу на процеси формування робочого профілю доменної печі, а також прогнозувати можливе охолодження печі внаслідок обривання охолодей

Діагностика робочого профілю шахти доменної печі забезпечує подовження строку служби футеровки, отже, збільшення міжремонтного періоду агрегату в цілому, тобто підвищення продуктивності доменної печі



